CASSY® Lab

Manuale (524 204)

Copyright

Il software può essere usato solo a scopi didattici. Tale uso prevede che le lezioni si possano preparare anche a casa.

È possibile rivelare il codice di accesso ai colleghi di altre discipline.

LD Didactic GmbH si riserva il diritto di perseguire tutte le violazioni dei termini indicati secondo le leggi vigenti.

Il marchio CASSY® è stato registrato per conto della LD Didactic GmbH.

Autori

Dr. Michael Hund
Dr. Karl-Heinz Wietzke
Dr. Timm Hanschke
Dr. Werner Bietsch
Dr. Antje Krause
Frithjof Kempas
Christoph Grüner
Mark Metzbaur
Barbara Neumayr
Bernd Seithe

Grafica

Oliver Nießen

Versione

21/09/2007

Contenuti

Introduzione 7
Informazione importante dopo l'installazione di CASSY Lab 7
Programmazione della CASSY-S 8

CASSY Lab 9
Misura 13
Misura (box MCA) 15
Modifica il contenuto della tabella 16
Elaborazioni grafiche 17
Addizione / Sottrazione di spettri (box MCA) 23
Curve Gaussiane e frequenze di conteggio (box MCA) 23

Settaggi 24
Settaggi – CASSY 24
Settaggi – Parametro/Formula/FFT 25
Settaggi – Visualizzazione 26
Settaggi – Modellizzazione 27
Settaggi – Commento 28
Settaggi – Generale 28

Formule matematiche 29
Esempi di formule 32

Sensor-CASSY 33
Dati Tecnici 34
Settaggi ingresso sensore 35
Sensore d'ingresso e misura di grandezze fisiche 36
Correzione ingresso sensore 41
Settaggi Relè/generatore di tensione 42

Power-CASSY 43
Dati tecnici 44
Settaggi generatore di funzioni 45

Profi-CASSY 46
Dati Tecnici 47
Settaggio ingresso analogico 48
Settaggio uscita analogica X (generatore di funzioni) 49
Settaggio uscita analogica Y 50
Settaggio ingresso/uscita digitale 50

CASSY-Display 51
Data logger 51

Pocket-CASSY 52
Dati tecnici 53
Uso di Pocket-CASSY 54

Mobile-CASSY 55
Dati tecnici 56
Uso di Mobile-CASSY 57

Joule- e watt-metro 58
Dati tecnici 60

Strumento di misura universale per fisica 61
Dati tecnici 62

Strumento di misura universale per chimica 63
Dati tecnici 64

Altri dispositivi seriali 65
ASCII, bilancia, VideoCom, IRPD, MFA 2001 65
MetraHit 66
Termometro 66
Spettrofotometro digitale 66
Strumenti di misura manuali e data logger 67
Piattaforma rotante per antenna 67

STM (Moduli per l'Insegnamento delle Scienze) 70
Moto uniformemente accelerato – diagramma spazio-tempo 71
Moto uniforme fra due barriere luminose 73
Moto uniformemente accelerato fra un elettromagnete ed una barriera luminosa 75
Relazione fra accelerazione e massa (F=costante) 77
Relazione fra accelerazione e forza (m=costante) 79
Legge di Ohm 81
Collegamento delle resistenze in serie 83
Collegamento delle resistenze in parallelo 85
Regolazione della tensione con il potenziometro 87
Principio di funzionamento del ponte di Wheatstone 89
L'effetto della distanza fra la sorgente radiante ed il contatore a finestra sul tasso d'impulsi 91

Esempi di esperimenti di fisica 93
Moto uniforme tra due barriere luminose 96
Moto accelerato tra magnete a ritenuta e barriera luminosa 98
Moto con ruota a raggi (definizione di newton) 100
Moto sulla rotaia a cuscino d'aria (legge del moto di Newton) 102
Conservazione dell'energia e della quantità di moto (urto) 104
Conservazione della quantità di moto dalla misura del moto del centro di massa (urto) 107
Conferma della relazione azione=reazione dalla misura delle accelerazioni (urto) 109
Caduta libera con scala-g 111
Caduta libera con scala-g (con modellizzazione) 113
Moto rotatorio (legge del moto di Newton) 115
Conservazione del momento angolare e dell'energia (urto torsionale) 117
Forza centrifuga (braccio rotante per forza centrifuga) 119
Forza centrifuga (apparecchio per la forza centrifuga) 121
Oscillazioni di un pendolo ad asta 123
Oscillazioni di un pendolo ad asta (con massa aggiuntiva) 125
Oscillazioni di un pendolo ad asta (con modellizzazione) 127
Dipendenza del periodo dell'oscillazione dall'ampiezza 129
Determinazione dell'accelerazione dovuta alla gravità della terra con un pendolo reversibile 131
Pendolo con accelerazioni dovute alla gravità cambiabili (pendolo per g variabile) 133
Oscillazioni armoniche di un pendolo a molla 136
Relazione tra il periodo di oscillazione del pendolo a molla e la massa 138
Oscillazioni di un pendolo a molla (con modellizzazione) 140
Oscillazioni di un pendolo a molla con attrito di un solido (con modellizzazione) 143
Oscillazioni di un pendolo a molla con attrito di un lubrificante (con modellizzazione) 146
Oscillazioni di un pendolo a molla con attrito di un liquido laminare (con modellizzazione) 149
Oscillazioni di un pendolo a molla con attrito di un liquido turbolento/attrito dell'aria 152
Pendoli accoppiati con due generatori tachimetrici 155
Pendoli accoppiati con due sensori di moto rotatorio 157
Battimenti acustici 159
Vibrazioni di una fune 161
Velocità del suono nell'aria 163
Determinazione della velocità del suono nell'aria con 2 microfoni 166
Velocità del suono nei gas 168
Velocità del suono nei corpi solidi 171
Analisi di Fourier e simulazione dei segnali 173
Analisi di Fourier dei segnali di un generatore di funzioni 175
Analisi armonica del suono 177
Sintesi dei suoni 179
Conversione dell'energia meccanica in energia termica 180

Conversione dell'energia elettrica in energia termica ... 183
Diagramma pV di un motore ad aria calda ... 187
Legge di Coulomb ... 190
Forza in un campo magnetico generato da una bobina in aria ... 193
Forza in un campo magnetico generato da un elettromagnete ... 196
Forza tra due conduttori percorsi da corrente (definizione di ampere) ... 198
Impulso di tensione (legge dell'induzione di Faraday) ... 201
Induzione in un campo magnetico variabile ... 204
Tensione e corrente di un trasformatore in funzione del tempo ... 208
Trasformazione della potenza ... 210
Potenza di carichi arbitrari funzionanti con tensione AC di rete ... 212
Carica e scarica di un condensatore ... 214
Carica e scarica di un condensatore (con modellizzazione) ... 216
Carica e scarica di un piccolo condensatore (capacità di un cavo) ... 218
Oscillatore smorzato ... 220
Oscillatore smorzato (con modellizzazione) ... 222
Oscillatori accoppiati ... 224
Oscillazioni forzate (risonanza) ... 226
Oscillazioni forzate (risonanza, con modellizzazione) ... 228
Filtro RLC (passa basso, passa alto, passa banda) ... 230
Filtro passa basso (con modellizzazione) ... 233
Filtro passa alto (con modellizzazione) ... 236
Caratteristica di una lampada ad incandescenza ... 239
Caratteristica di un diodo ... 240
Caratteristica di un transistor ... 243
Potenza caratteristica di una cella solare ... 245
Controllo di temperatura ... 247
Controllo di luminosità ... 250
Controllo di tensione ... 252
Diffrazione su una singola fenditura ... 255
Diffrazione su fenditure multiple ... 258
Intensità della luce inversamente proporzionale al quadrato della distanza ... 261
Velocità della luce nell'aria ... 263
Velocità della luce in materiali vari ... 265
Esperimento di Millikan ... 267
Esperimento di Franck-Hertz con mercurio ... 270
Esperimento di Franck-Hertz con neon ... 273
Legge di Moseley (Righe K per fluorescenza di raggi X) ... 276
Legge di Moseley (Righe L per fluorescenza di raggi X) ... 279
Riflessione di Bragg dispersiva dell'energia in differenti ordini di diffrazione ... 282
Effetto Compton nei raggi X ... 286
Distribuzione di Poisson ... 290
Tempo di dimezzamento del radon ... 291
Spettroscopia α di campioni radioattivi (Am-241) ... 293
Determinazione della perdita di energia della radiazione α nell'aria ... 295
Determinazione della perdita di energia di una radiazione α nell'alluminio e nell'oro ... 298
Determinazione dell'età di un campione di Ra-226 ... 300
Rivelazione della radiazione γ con un contatore a scintillazione (Cs-137) ... 302
Registrazione e calibrazione di uno spettro γ ... 304
Assorbimento della radiazione γ ... 306
Identificazione e determinazione dell'attività di campioni debolmente radioattivi ... 308
Registrazione di uno spettro β con il contatore a scintillazione ... 310
Valutazione quantitativa dell'effetto Compton ... 312
Registrazione dello spettro complesso del Ra-226 e dei suoi prodotti di decadimento ... 314
Registrazione dello spettro complesso γ di una reticella a gas incandescente ... 316
Coincidenza e correlazione angolare γ-γ nel positrone decaduto ... 318
Misure con l'analizzatore monocanale ... 320
Conduzione elettrica nei corpi solidi ... 322
Isteresi di un materiale ferromagnetico ... 324
Analisi non distruttiva della composizione chimica (fluorescenza di raggi X) ... 327
Determinazione della composizione chimica di un campione di ottone (fluorescenza a raggi X) ... 330

Esempi di esperimenti di chimica 334
Il bruciatore Bunsen 335
Misura del pH negli alimenti 338
Misura del pH nei detersivi 341
Determinazione del pKa dell'acido acetico 345
Titolazione dell'acido fosforico 349
Punto di fusione e di solidificazione dell'acido palmitico 353
Sopraffusione del tiosolfato di sodio fuso 356
Determinazione della massa molare mediante abbassamento del punto di congelamento 359
Titolazione dell'acido cloridrico con una soluzione di soda caustica (pH e conducibilità) 363
Titolazione dell'aceto domestico 366
Titolazione dell'acido acetico con una soluzione di soda caustica (pH e conducibilità) 370
Titolazione automatica di NH3 con NaH2PO4 (buretta a stantuffo) 373
Titolazione automatica (contatore in discesa) 376
Gascromatografia (separazione degli alcheni dai gas leggeri) 380
Gascromatografia (separazione degli alcoli) 382
Gascromatografia (separazione dell'aria) 384
Registrazione dello spettro di una soluzione di clorofilla grezza (con lo spettrofotometro) 386
Reazione del marmo con acido cloridrico (determinazione del contenuto di carbonato) 388
Scissione dell'urea mediante ureasi (reazione di ordine zero) 390
Idrolisi del cloruro di butile (determinazione dell'ordine di reazione) 395
Reazione del marmo con acido cloridrico (determinazione dell'ordine di reazione) 398
Idrolisi alcalina dell'acetato di etile (determinazione dell'ordine di reazione) 402
Idrolisi alcalina dell'acetato di etile (determinazione dei parametri di attivazione) 407
Analisi termica differenziale del solfato di rame 412
Preparazione di una miscela refrigerante 416
Determinazione dell'entalpia di fusione del ghiaccio 418
Leggi dei gas 422
Determinazione della conducibilità di soluzioni differenti 425
Determinazione della conducibilità equivalente limite del cloruro di sodio 428
Determinazione della costante di dissociazione dell'acido acetico 431
Separazione di un miscuglio di due componenti con l'apparecchio di rettificazione CE2 436
Assorbimento della radiazione UV 439
Simulazione del buco dell'ozono 441
Effetto Serra di CO2 444

Esempi di esperimenti di biologia 447
Pulsazione 448
Resistenza della pelle 450
Elettrocardiogramma (ECG) 452
Elettromiogramma (EMG) 454
Pressione del sangue 455
Tempo di reazione 457
Capacità polmonare (spirometria) 459
Misura lunga di dati meteo 461

Esempi di esperimenti di tecnica 463
Autoveicolo – sistemi di accensione 464
Autoveicolo – sistemi di iniezione 467
Autoveicolo – computer di bordo con radio 471
Autoveicolo – sistema di comfort con CAN bus 473
Autoveicolo – studio dei segnali CAN bus dati 475
Modulazione con codifica ad impulsi (PCM, quantizzazione) 477
Principi fisici della tecnica delle microonde (caratteristiche dell'oscillatore Gunn) 479
Guida a piani paralleli (modi TEM e TE) 481
Propagazione di microonde nelle guide d'onda (misura del rapporto dell'onda stazionaria) 484
Tecnica delle antenne 487
Ingegneria di comando 493

Appendice 495

Indice 518

Introduzione

Questo manuale serve a fornire una esauriente panoramica delle numerose ed interessanti possibilità disponibili con il software CASSY Lab. Il testo utilizzato per la stampa del manuale è identico al testo contenente la guida sull'uso del programma, le cui funzioni si possono attivare con il mouse.

Il testo con la guida all'uso del programma prevede i seguenti strumenti:

- Possibilità di accedere direttamente alle varie informazioni utilizzando il mouse.
- Possibilità di eseguire i vari esperimenti e l'inserimento dei dati utilizzando il mouse.
- Guida al sistema con due modi di ricerca: attraverso un indice oppure attraverso il testo completo.

Installazione

CASSY Lab si può installare nei seguenti modi:

- automaticamente mediante CD-ROM oppure
- manualmente utilizzando il file **autorun.exe**

e seguire le istruzioni che compaiono sullo schermo.

Informazione importante dopo l'installazione di CASSY Lab

Uso del software con CASSY-S (Sensor-CASSY, Power-CASSY, Profi-CASSY, CASSY-Display, Pocket-CASSY e Mobile-CASSY)

Quando si avvia CASSY Lab per la prima volta, bisogna inserire il codice di attivazione che si trova in un foglio separato della fattura sotto il numero 524 200. Il software supporta il sistema CASSY-S senza nessuna restrizione (senza codice di attivazione, l'uso del sistema CASSY-S è limitato a 20 sessioni di lavoro).

Uso del software con gli strumenti di misura di serie

CASSY Lab supporta gli strumenti di misura di serie, il Joule- e watt-metro e lo strumento di misura universale per fisica senza richiedere il codice di attivazione.

Manuale

CASSY Lab è corredato di un manuale d'uso chiaro ed esauriente. Per utilizzare in pieno le potenzialità di CASSY Lab è necessario leggere con molta attenzione tutto il manuale. Per questo, si può procedere in diversi modi:

- Aprire il manuale dal CD-ROM (avvio **autorun.exe**).
- Ordinare la stampa del manuale (524 204)

Scarica il manuale da Internet (in formato Adobe PDF).

- Utilizzando il software con la funzione guida (testo identico a quello utilizzato per la stampa del manuale contenente simboli e parole che evidenziano graficamente i collegamenti necessari a migliorare le possibilità di ricerca).

Avviamento

Visualizza l'introduzione

Visualizza gli esempi di esperimenti

È possibile accedere agli esempi di esperimenti ed utilizzarli per ulteriori elaborazioni senza il sistema CASSY. Ciò consente di predisporre il programma ad utilizzare gli esempi proposti per eseguire nuove misure ed adattarli, di volta in volta, alle proprie esigenze.

Supporto

Se ci dovessero essere delle domande nonostante l'aiuto dei numerosi esempi sperimentali, è possibile chiedere un supporto inviando una mail a info@didattica-italia.it.

Aggiornamenti

Si consiglia di valorizzare CASSY Lab espandendo le sue potenzialità – ciò dipende sopratutto dall'esperienza acquisita con l'uso.

Scarica l'aggiornamento da Internet.

Programmazione della CASSY-S

È anche possibile programmare CASSY-S da soli. In questo caso, bisogna avere a disposizione la descrizione del protocollo dell'interfaccia ed una componente Delphi/Lazarus (in codice sorgente) da scaricare su Web.

Scarica le informazioni da Internet.

Delphi (Windows) e Lazarus (Linux)

Il supporto di CASSY con Delphi o Lazarus è facile poiché questo richiede solo l'inclusione del componente descritto sopra.

C/C++/Visual Basic

Altri linguaggi di programmazione possono accedere a CASSY attraverso CASSYAPI.DLL (Windows) o libcassyapi.so (Linux). Per questo sono stati inclusi e chiamati CASSYAPI.DLL o libcassyapi.so. Le dichiarazioni necessarie per C/C++ sono contenute in CASSYAPI.H. Tutti e tre i files sono disponibili su internet nelle informazioni per sviluppatori.

LabVIEW (Windows e Linux)

Anche il driver LabVIEW per CASSY è disponibile su Internet. In aggiunta ai VIs (Strumenti virtuali) per comandare CASSY, il driver contiene anche esempi di applicazioni.

LabVIEW è un nome registrato da National Instruments.

CASSY Lab

Introduzione

- Misura
- Elaborazioni
- Esempi di esperimenti
- Programmazione della CASSY-S

Attraverso la porta USB o la porta seriale del computer, CASSY Lab supporta uno o più moduli CASSY-S (Sensor-CASSY, Power-CASSY, Profi-CASSY, CASSY-Display, Pocket-CASSY e Mobile-CASSY) e diversi strumenti di misura della serie, il Joule- e watt-metro e lo strumento di misura universale per fisica. La prima volta che si usa la CASSY o un altro dispositivo, CASSY Lab chiede di specificare l'interfaccia seriale utilizzata (da COM1 a COM4). Tale specifica va salvata come valore di default. Per i moduli CASSY sulla porta USB, non è necessario specificare la porta seriale – I moduli saranno automaticamente riconosciuti. Ogni volta che si utilizza la CASSY, il software chiede l'inserimento del codice di attivazione.

Codice di attivazione

Per utilizzare CASSY Lab con la CASSY bisogna inserire un codice di attivazione di 24 cifre. La prima volta che si avvia CASSY Lab, bisogna inserire il codice di attivazione che si trova in un foglio separato della fattura sotto il numero 524 200; questo numero va inserito una sola volta assieme al nome dell'intestatario della fattura. Il software della CASSY si attiva solo in questo modo. Si prega di rispettare il copyright.

Nel caso in cui si vuole usare CASSY Lab con altri dispositivi di serie, con il Joule- e watt-metro o con lo strumento di misura universale per fisica, **non** è necessario inserire il codice di attivazione.

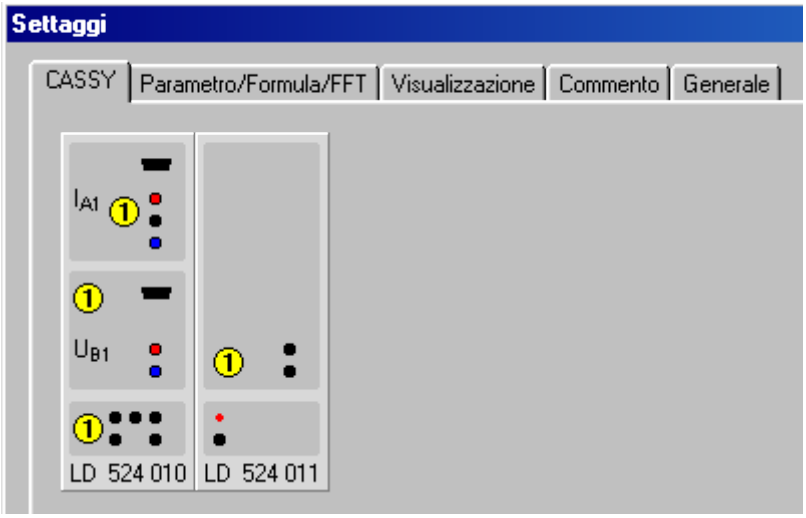
Se non è stato inviato il codice di attivazione, basta spedire la fattura di CASSY Lab (524 200) utilizzando il numero di fax +49-2233-604607. Sempre via fax, il codice di attivazione verrà comunicato il più presto possibile. CASSY Lab può essere usato con la CASSY anche senza codice di attivazione, ma per un tempo limitato (20 sessioni di lavoro).

Future versioni ed eventuali aggiornamenti si possono scaricare da Internet anche senza codice di attivazione, poiché non ci sono restrizioni sull'uso degli aggiornamenti.

- Scarica gli aggiornamenti da Internet.

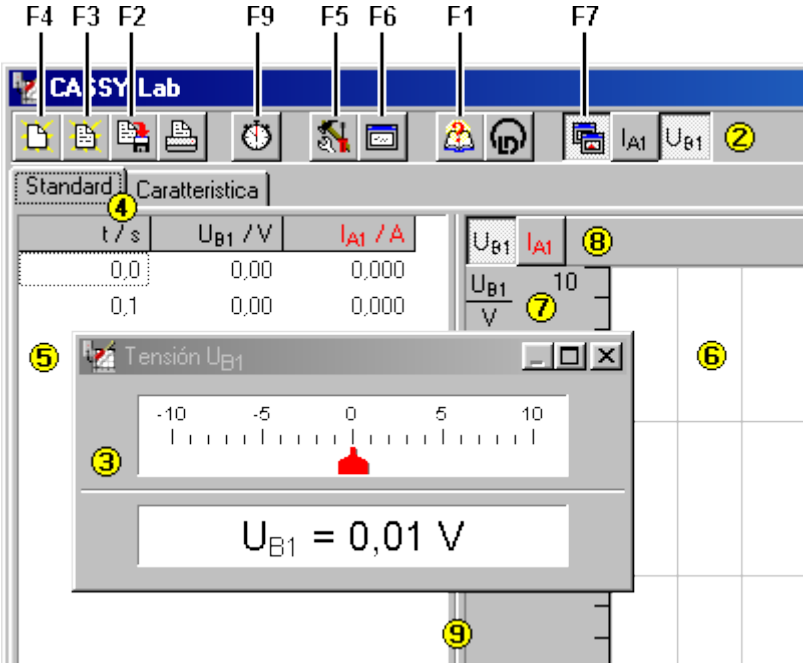
Prima misura

Se il programma rileva la presenza di uno o più dispositivi CASSY, il CASSY Lab di avvio del dialogo (**F5**) mostra la configurazione corrente (compresa la presenza dei box sensori). Per eseguire la misura basta cliccare sull'ingresso o sull'uscita corrispondente ①.



L'ingresso o l'uscita attivi (canali) sono evidenziati da un colore; essi si trovano tra i pulsanti ② in alto a destra della videata principale (cioè I_{A1} ed U_{B1}). Questi pulsanti permettono di visualizzare o chiudere rapidamente lo strumento ③ presente su un canale (pulsante sinistro del mouse) oppure servono a

modificare un'assegnazione (pulsante destro del mouse). All'inizio, il canale compare automaticamente nella tabella ⑤ e nel diagramma ⑥.



Si può accedere rapidamente alle funzioni principali mediante i pulsanti ② che si trovano nella barra superiore. I pulsanti più importanti sono presentati come funzioni chiave.

Se sono definiti differenti modi di visualizzazione (**Standard** e **Caratteristica**), nello spazio sottostante la barra dei pulsanti, cliccando sul menu ④ si può attivare la visualizzazione dei dati sotto forma di tabella ⑤ e di diagramma ⑥. La tabella e il diagramma si possono allargare o restringere uno rispetto all'altro spostando il bordo ⑨ con il mouse.

In alcuni casi, per eseguire funzioni diverse, bisogna usare **entrambi** i pulsanti del mouse (sinistro e destro):

Elemento controllato	**Pulsante sinistro del mouse**	**Pulsante destro del mouse**
① CASSY setup	Attiva e modifica un canale	Attiva e modifica un canale
② Pulsante del canale	Apre e chiude uno strumento, trascina e incolla in ② e ⑤ attraverso ⑧	Settaggio di un canale
③ Visualizzazione strumento	Sposta il bordo tra la visualizzazione analogica e digitale, trascina e incolla i valori in ⑤	Settaggio di un canale
④ Nome del display	Passa ad un altro display	
⑤ Tabella	Mostra i valori misurati, trascina e incolla i valori nella tabella o i canali a ②	Assegna i parametri della tabella, per es. dimensione carattere, cancella riga e serie di misure
⑥ Diagramma	Evidenzia il campo di elaborazione	Assegnazioni ed elaborazioni nel diagramma
⑦ Scala	Sposta la scala	Assegna il minimo, il massimo ed il cambiamento di scala
⑧ Simboli degli assi	Varia la scala delle y, trascina e incolla in ②	Settaggio di un canale
⑨ Bordo	Sposta il bordo tra tabella e diagramma	

I pulsanti 2 servono a rendere più agevole l'uso del programma.

F4

Cancella la misura corrente conservando i settaggi oppure, se non è visualizzata la misura, cancella i settaggi correnti.

Premendo due volte questo tasto si cancella la misura corrente e tutti i settaggi.

F3

Avvia una serie di misure con i relativi settaggi ed elaborazioni.

È possibile aggiungere anche un'altra misura a quella già esistente (senza caricare i relativi settaggi ed elaborazioni). Questo è possibile se per tutte le misure si utilizzano sempre gli stessi parametri. Altrimenti, si può eseguire una nuova misura ed aggiungerla successivamente.

Il software dispone anche di un filtro in codice ASCII (file di tipo ***.txt**).

F2

Salva la misura corrente con i relativi settaggi ed elaborazioni.

Qualora si volesse ripetere l'esperimento successivamente, si possono salvare soltanto i settaggi (senza i dati della misura) in modo da semplificare le operazioni.

Il software dispone anche di un filtro in codice ASCII (file di tipo ***.txt**). Tuttavia, si possono anche aprire i file CASSY Lab (file di tipo ***.lab**) usando un editor di testo.

Stampa la tabella o il diagramma correnti.

F9

Avvia ed arresta una misura.

È anche possibile arrestare la misura dopo un intervallo di tempo prestabilito.

F5

Cambia i settaggi correnti (per es. CASSY, Parametri/Formula/FFT, Display, Commento, Interfaccia Seriale). Per i parametri di misura questa funzione va attivata **due volte**.

F6

Attiva e disattiva la finestra grande della linea di stato.

F1

Apre il file di guida (help).

Visualizza il numero della versione del software corrente ed abilita l'inserimento del codice di attivazione.

F7

Chiude o riapre tutti gli strumenti.

Apertura e chiusura dei file ASCII

Mediante la finestra selezione file, è possibile aprire e chiudere velocemente i file ASCII selezionando quelli con estensione ***.txt**.

Il formato dei dati prevede una intestazione, per cui ogni riga inizia con una parola chiave. Essa specifica il campo di misura, (MIN, MAX), la SCALA, il numero di cifre decimali (DEC) e la definizione delle quantità misurate (DEF). Tutte le righe, ad eccezione di DEF, sono opzionali. Dopo l'intestazione c'è la tabella con i valori misurati.

In questo modo si può vedere il corretto uso della sintassi, per es. nel file creato con la funzione trasferimento dati.

Linea di stato

I risultati delle elaborazioni compaiono sempre nella linea di stato che si trova nella zona inferiore della finestra principale. Mediante il tasto **F6** , è possibile attivare e disattivare la visualizzazione di queste informazioni su una finestra più grande.

Funzione trascina & incolla

Usando il mouse, è possibile trascinare i risultati della valutazione dalla linea di stato ed incollarli nella tabella. Questo permette di generare i diagrammi che dipendono dai risultati della valutazione.

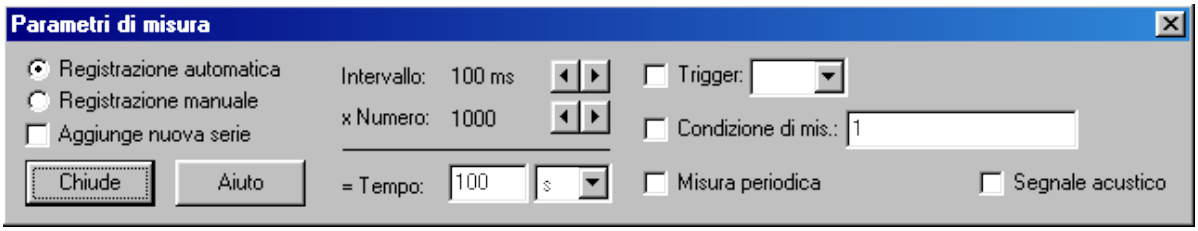
Misura

F9

Avvio e arresto di una nuova misura. Con il pulsante destro del mouse si apre il menu visualizzazione tabella nella parte dello schermo riservata alla tabella ed il menu elaborazione in quella riservata al diagramma.

F5

Permette di cambiare i settaggi e (con **doppio** click) i parametri di controllo della misura in corso.



I valori di default che appaiono sullo schermo dipendono dal box sensore collegato correntemente. Ciò semplifica le operazioni di messa a punto del sistema in quanto sono già state definite le caratteristiche del box sensore utilizzato per la misura. Per misure con il **box MCA** questa finestra diventa differente.

Registrazione automatica

Il software determina il tempo necessario a registrare i valori di una misura. Dopo aver avviato la misura (per es. con F9), il software si pone in stato di attesa per un intervallo di tempo prestabilito da un **trigger**; trascorso tale intervallo di tempo, si ha la registrazione del dato. Prima di iniziare l'esperimento, bisogna adattare alle diverse esigenze l'**intervallo** tra una misura e l'altra, il **numero** di misure e la **durata della misura**. Attivando l'opzione **misura periodica** i dati vengono visualizzati con continuità.

Il software valuta la **condizione di misura** rispetto al trigger ad intervalli di tempo maggiori di 100 ms; registrato il dato, emette un **segnale acustico**. È possibile collegare la condizione di misura ad una formula. Se dalla formula si ottiene un risultato diverso da 0 si ha ON = "Registrazione dato abilitata", se invece il risultato è uguale a 0 si ha OFF = "Registrazione dato disattivata". La misura viene eseguita finché sono verificate contemporaneamente le seguenti condizioni: avvio della misura **e** valore restituito dalla formula ON. Per esempio, se si vuole eseguire una misura il 21 Aprile 1999 tra le ore 13.00 e le ore 14.00, la formula è la seguente: date = 21.4.1999 and time >= 13:00 and time <= 14:00.

Per la misura di alcune grandezze (per es. velocità, frequenza, tempo di transito, tempo di oscuramento e spazio percorso con il GM box o il timer box), il software non deve tener conto dell'intervallo di tempo specificato. In questo caso la misura viene controllata dal tempo di apertura di una porta o dagli impulsi generati nel corso della misura.

Registrazione manuale

L'operatore determina l'istante di registrazione del valore ottenuto dalla misura. Dopo ogni avvio (per es. con F9). Il software registra **un** valore su una riga, quindi i valori misurati dagli strumenti sono trasferiti in tempo reale nella tabella e nel diagramma. Per questo motivo, la registrazione manuale deve essere eseguita velocemente in modo da acquisire una serie completa di dati.

Aggiungi una nuova serie di misure

La funzione Aggiungi abilita la registrazione di più misure eseguite in modo sequenziale. Le diverse serie di misure, aggiunte di volta in volta, sono visualizzate contemporaneamente nella tabella e nel diagramma ed evidenziate da un colore diverso.

Le diverse serie di misure sono registrate una dopo l'altra e poi salvate singolarmente. Quando si carica una serie di valori confrontabili fra loro (ad es. di valore costante), tale serie si può aggiungere "retroattivamente".

Cambiamento e cancellazione dei valori misurati/inserimento parametri

È possibile scrivere nella tabella tutti i valori delle misure (tranne il tempo e le formule). Per fare questo, bisogna cliccare sulla riga della tabella che si vuole modificare e scrivere il valore numerico con la tastiera. Questo è anche il solo modo per inserire un parametro nella tabella.

Per cancellare un valore si può procedere in vari modi: si entra con il mouse nel menu che si trova sopra la tabella, con il pulsante destro del mouse si apre una finestra attraverso la quale si può cancellare l'ultima riga oppure tutta la serie di misure. Nel menu evidenziato sul diagramma (pulsante destro del mouse), si può cancellare l'intera serie di valori misurati.

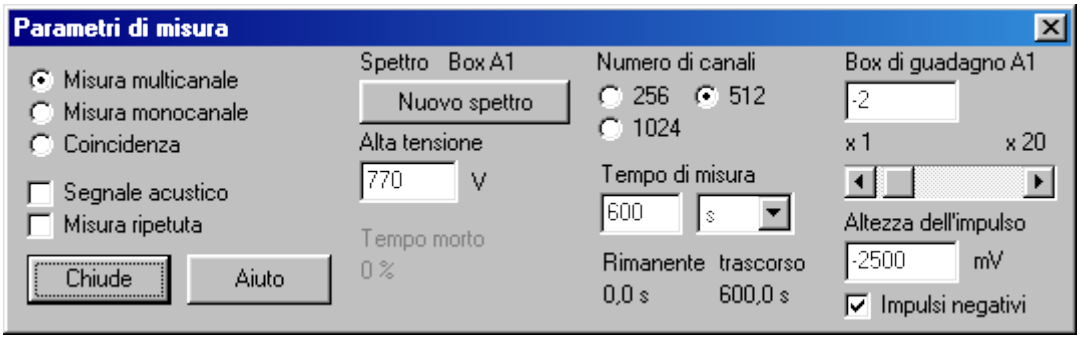
Misura (box MCA)

F9

Avvio e arresto di una nuova misura. Con il pulsante destro del mouse si apre il menu visualizzazione tabella nella parte dello schermo riservata alla tabella ed il menu elaborazione in quella riservata al diagramma.

F5

Permette di cambiare i settaggi e (con **doppio** click) i parametri di controllo della misura in corso.



Questa è l'unità centrale di controllo per una misura con il box MCA. I settaggi generali come il tempo di misura sono scelti nella parte sinistra della finestra. A seconda del modo di misura (multicanale, monocanale, coincidenza), si possono settare differenti opzioni nella parte destra della finestra.

Misura multicanale (MCA)

Il numero di canali, il tempo di misura e l'amplificazione del box vanno settati nella parte destra della finestra. Il miglior risultato si ottiene con amplificazioni di 1, 2, 5 o 10, o maggiore. I caratteri rossi indicano che è stata fatta una scelta inappropriata.

Misura monocanale

Il numero dei canali è sostituito dal numero dei punti di misura che sono rilevati uno dietro l'altro.

La durata della misura e il tempo di misura per punto di dati sono influenzati dal numero di punti di misura.

Per ogni singola misura, l'ampiezza della finestra di misura può essere data o come una percentuale dell'intero campo di misura o come la distanza fra due punti di misura.

Il guadagno è regolato nel modo multicanale.

Misura di coincidenza

Per questo si usano due box MCA con una CASSY. Uno di questi registra uno spettro multicanale, ma solo se nello stesso tempo vengono registrati, rispettivamente, impulsi nella finestra di coincidenza dell'altro box (coincidenza) o se non vengono registrati impulsi (anticoincidenza).

Fondamentalmente il modo di misura è lo stesso di quello di una misura multicanale, il settaggio per il numero dei canali e il guadagno nel centro della finestra da applicare al box che registra lo spettro.

I parametri specifici della coincidenza sono messi sulla destra. L'altezza minima e massima della finestra sono date come una percentuale del campo di misura. Dopo aver premuto il pulsante **Mostra**, si può prendere un campo dello spettro misurato con questo (!) contrassegnarlo e prenderlo come finestra.

Modifica il contenuto della tabella

Si può modificare il contenuto della tabella cliccando su di essa con il pulsante destro del mouse. Selezionando con il pulsante sinistro del mouse le celle corrispondenti si possono modificare i singoli valori della tabella o trasferirli in altre celle (trascina & incolla).

- Cambia assegnazione delle colonne
- Seleziona dimensione del carattere
- Cancella l'ultima riga della colonna
- Cancella l'ultima serie di misure
- Copia Tabella/Finestra

Cambia assegnazione delle colonne

Attivare Visualizzazione Tabella. Questo permette di modificare l'assegnazione della colonna x e fino ad 8 colonne y. È anche possibile la conversione matematica delle colonne.

Alternativamente, con trascina e incolla si possono spostare le colonne avanti e indietro ed inserirle tra i pulsanti di canale e la tabella.

Seleziona dimensione del carattere

Permette di cambiare la dimensione dei caratteri della tabella. Si possono selezionare tre tipi di caratteri: piccolo, medio e grande.

Tramite l'opzione Generale, si possono salvare le assegnazioni correnti per averle a disposizione quando si avvia nuovamente il programma.

Cancella l'ultima riga della tabella

Questa opzione, oltre a cancellare l'ultima riga della tabella, serve ad eliminare i valori nascosti di altri canali che vengono registrati contemporaneamente. Alternativamente, si può cancellare tutta la serie di misure.

Questo permette di cancellare in modo manuale la registrazione dei valori errati.

Oppure semplicemente

Da tastiera: Alt + L

Cancella l'ultima serie di misure

Cancella l'ultima serie di valori contenuti nella tabella. Inoltre, permette di eliminare i valori nascosti di altri canali che vengono registrati contemporaneamente. Alternativamente, si può cancellare l'ultima riga della tabella.

Questo serve a cancellare in modo automatico la registrazione dei valori errati.

Copia Tabella/Finestra

Le funzioni **Copia Tabella** e **Copia Finestra** servono a copiare nella clipboard di Windows, rispettivamente, il contenuto della tabella in formato testo e la finestra principale. Si ha così la possibilità di utilizzare questi dati con altri programmi di Windows.

Elaborazioni grafiche

Cliccando sul grafico con il pulsante destro del mouse si possono attivare numerose funzioni grafiche.

- Modifica Assegnazione Assi
- Visualizza Coordinate
- Seleziona Larghezza Linea
- Seleziona Visualizzazione Valori
- Seleziona Righe
- Mostra Griglia
- Zoom
- Disattiva Zoom Off
- Inserisci Marker
- Testo
- Linea Verticale
- Linea Orizzontale
- Misura la Differenza
- Valore Medio
- Funzione di fit
- Calcola l'integrale
- Calcola la Distribuzione di Poisson
- Calcola la Distribuzione di Gauss
- Calcola il valore di picco
- Calcola il fattore di forma
- Calcola l'ondulazione
- Curve Gaussiane di fit
- Determina il punto equivalente
- Determina sistole e diastole
- Cancella l'ultima valutazione
- Cancella tutte le valutazioni
- Cancella serie (solo valori misurati)
- Copia Diagramma/Finestra

Modifica Assegnazione Assi

Attivare Visualizzazione diagramma. Questo permette di modificare l'assegnazione dell'asse x e degli 8 assi y. È anche possibile la conversione matematica degli assi.

Alternativamente, con trascina e incolla si possono spostare le assegnazioni degli assi avanti e indietro ed inserirle tra i pulsanti di canale ed il diagramma.

Visualizza Coordinate

Attivando questa funzione, la linea di stato mostra le coordinate correnti della posizione in cui si trova il cursore del mouse quando si sposta lungo il diagramma. La visualizzazione delle coordinate rimane attiva fino a quando non si abbandona questo menu, oppure fino a quando nella linea di stato compare il risultato fornito dalle funzioni Inserisci Marker, Valore Medio, Funzione di fit, Calcola l'integrale, Altre Valutazioni.

Le coordinate correnti si possono inserire anche nel diagramma. Tuttavia, quando si entra nella funzione Testo digitando Alt + T sulla tastiera, bisogna essere sicuri di non modificare le coordinate puntate dal mouse, altrimenti si corre il rischio di utilizzare coordinate sbagliate.

Tramite l'opzione Generale, si possono salvare le assegnazioni correnti per averle a disposizione quando si avvia di nuovo il programma.

Oppure semplicemente

Da tastiera: Alt + C

Selezionare Larghezza Linea

È possibile modificare la larghezza della linea del diagramma e delle relative elaborazioni. Si possono scegliere tre tipi di linee: sottile, medio e spesso.

Tramite l'opzione Generale, si possono salvare le assegnazioni correnti per averle a disposizione quando si avvia di nuovo il programma.

Seleziona Visualizzazione Valori

CASSY Lab mette a disposizione sei funzioni per visualizzare i valori di una misura.

Mostra Valori	Con quadratini, triangoli, cerchietti, caratteri, …
Mostra Linee di collegamento	Linee di collegamento tra i punti ottenuti dalle misure
Interpolazione di Akima	Valori fra i punti misurati interpolati con il metodo di Akima
Interpolazione di sinc	Valori fra i punti misurati interpolati con $\text{sinc}(x)=\sin(\pi x)/\pi x$
Mostra Barre	Mostra i valori mediante barre
Mostra Assi	Mostra gli assi x e y

Tramite l'opzione Generale, si possono salvare le assegnazioni correnti per averle a disposizione quando si avvia di nuovo il programma.

Le interpolazioni di Akima e di sinc non sono calcolate nè su finestre nel dominio della definizione né durante una misura. Durante la misura i punti sono collegati solo da linee rette. Solo dopo la misura si calcola l'interpolazione di sezioni di curva fra i punti di misura. L'interpolazione di sinc è ideale per segnali che non contengono nessun componente in frequenza maggiore della metà della frequenza di campionamento. In questo caso porta a 10 volte il campionamento in eccesso.

Seleziona Righe

Questa funzione visualizza la riga superiore e la riga a sinistra del diagramma, oppure la riga inferiore e la riga a sinistra del diagramma, oppure le disattiva entrambe.

Tramite l'opzione Generale, si possono salvare le assegnazioni correnti per averle a disposizione quando si avvia di nuovo il programma.

Mostra Griglia

Permette di attivare o disattivare la griglia del diagramma.

Tramite l'opzione Generale, si possono salvare le assegnazioni correnti per averle a disposizione quando si avvia di nuovo il programma.

Zoom

Questa opzione serve a definire l'ingrandimento del campo visualizzato. Si attiva con il pulsante sinistro del mouse.

Da un ingrandimento se ne può ottenere un altro. Lo zoom si disattiva con la funzione Disattiva Zoom.

Oppure semplicemente

Da tastiera: Alt + Z

Disattiva Zoom

Riporta il diagramma alla dimensione originaria

Oppure semplicemente

Da tastiera: Alt + O

Calibrazione energia (box MCA)

Gli spettri registrati sono prima divisi in canali. Se vengono assegnati uno o due canali ad una particolare energia, si può visualizzare uno spettro in termini di energia. Attivata la "Calibrazione energia", con il mouse si può settare un marcatore, in modo che il canale corrispondente viene inserito nella finestra di dialogo. In alternativa il canale può essere inserito manualmente cliccando nella finestra di dialogo. Come terza possibilità, si può fare il fit con una curva Gaussiana. Il risultato viene allora trascinato dalla linea di stato nella finestra di dialogo usando la funzione trascina e incolla. Le due finestre per la scelta delle energie contengono già valori di default per i preparati radioattivi più usati.

Se si sceglie l'opzione **calibrazione globale dell'energia**, I valori inseriti sono validi per tutti gli spettri registrati fino ad allora e anche per gli spettri delle serie di misure seguenti. La calibrazione si cancella alla chiusura del programma, al cambio del box MCA o al variare dell'amplificazione del box. Se ci sono spettri già calibrati, la loro calibrazione può essere ripresa.

Oppure semplicemente

Da tastiera: Alt + E

Inserisci Marker

Questo software fornisce quattro diversi tipi di marker. È possibile editare, spostare o cancellare i marker dal diagramma con un doppio click sul pulsante sinistro del mouse.

Alt+T: Testo

Questa funzione permette di scrivere un'etichetta ed inserirla in un punto qualsiasi del diagramma. Prima si scrive il testo quindi, dopo averlo spostato nel punto desiderato, lo si inserisce con il pulsante sinistro del mouse.

I valori numerici ottenuti dopo ciascuna elaborazione, vengono inseriti nella linea di stato sotto forma di testo; tali valori si possono accettare, editare o rifiutare.

Alt+V: Linea Verticale

Questa funzione serve a tracciare linee verticali in alcuni punti del diagramma. La loro posizione si legge nella linea di stato. Questa funzione viene disattivata quando nella linea di stato sono visualizzate le coordinate.

Alt+H: Linea Orizzontale

Questa funzione serve a tracciare linee orizzontali in alcuni punti del diagramma. La loro posizione si legge nella linea di stato. Questa funzione viene disattivata quando nella linea di stato sono visualizzate le coordinate.

Alt+D: Misura la Differenza

Dopo aver cliccato su un punto di riferimento, si può tracciare una linea che unisce questo punto con un altro punto del diagramma. La differenza delle coordinate tra il punto iniziale ed il punto finale si trova nella linea di stato. Questa funzione viene disattivata quando nella linea di stato sono visualizzate le coordinate.

Valore Medio

Quando si utilizza la funzione che calcola il valore medio, bisogna selezionare con il pulsante sinistro del mouse la sezione di curva di cui si vuole determinare il valore medio. Il valore medio compare nella linea di stato assieme all'errore statistico. Questa funzione viene disattivata quando nella linea di stato sono visualizzate le coordinate.

Il valore medio si può inserire nel diagramma come Testo. Per cancellare il valore medio dal diagramma bisogna cliccare due volte sul testo.

Funzione di fit

Il software offre una scelta di otto operazioni di miglior adattamento:

Retta di compensazione	$y=Ax+B$
Retta passante per l'origine	$y=Ax$
Parabola normale	$y=Ax^2$
Parabola	$y=Ax^2+Bx+C$
Iperbole 1/x	$y=A/x+B$
Iperbole $1/x^2$	$y=A/x^2+B$
Funzione esponenziale	$y=A*\exp(-x/B)$
Inviluppo di una oscillazione	$y=\pm A*\exp(-x/B)+C$ (attenuazione dovuta all'attrito nell'aria)
Adattamento libero	$y=f(x,A,B,C,D)$

Eseguita la scelta della funzione più opportuna, con il pulsante sinistro del mouse, si seleziona il tratto di curva che si vuole utilizzare.

Per definire un adattamento libero, è necessario specificare la funzione f(x,A,B,C,D), valori significativi e tempo di esecuzione massimo ammissibile prima di indicare il campo. Applicare le regole standard per inserire la funzione. Scegliere valori di partenza il più possibile realistici per aumentare le possibilità di ottenere un adattamento significativo. Se non è possibile adattare la funzione, riprovare il proces-

so con differenti valori di partenza e/o con tempi di calcolo più lunghi. In aggiunta, i singoli parametri A, B, C o D si possono mantenere costanti durante l'adattamento.

L'adattamento libero abilita anche un nuovo canale che viene creato automaticamente con **Visualizza automaticamente il risultato come nuovo canale (parametro)**. I diversi fits vengono visualizzati in colori differenti e possono essere di seguito valutati con le Formule.

Durante le operazioni d'interpolazione, sulla linea di stato compare il valore dei parametri correnti (A, B, C e D). Questa funzione viene disattivata quando nella linea di stato sono visualizzate le coordinate. I valori trovati si possono inserire nel diagramma come Testo. Per cancellare questi valori dal diagramma bisogna cliccare due volte su di essi.

Calcola l'integrale

Il valore dell'integrale fornisce l'area sottesa dal tratto di curva selezionato con il pulsante sinistro del mouse rispetto all'asse x e l'area di picco. Il valore dell'integrale compare nella linea di stato. Questa funzione viene disattivata quando nella linea di stato sono visualizzate le coordinate.

Il valore dell'integrale si può inserire nel diagramma come Testo.

Altre Valutazioni —> Calcola la Distribuzione di Poisson
(valida solo per distribuzioni periodiche)

Il numero totale di eventi n, il valore medio μ e la deviazione standard σ si calcolano nel campo dell'istogramma definito dal marker e visualizzato nella linea di stato; la distribuzione di Poisson si determina in base a ciò che appare nel diagramma dato dalla funzione: $y=n\cdot\mu^x/x!*\exp(-\mu)$.

Altre Valutazioni —> Calcola la Distribuzione di Gauss
(valida solo per distribuzioni periodiche)

Il numero totale di eventi n, il valore medio μ e la deviazione standard σ si calcolano nel range dell'istogramma definito dal marker e visualizzato nella linea di stato; la distribuzione di Gauss si determina in base a ciò che appare nel diagramma dato dalla funzione: $y=n/\sigma/\mathrm{Sqrt}(2\pi)*\exp(-(x-\mu)^2/2\sigma^2)$.

Altre Valutazioni —> Calcola il valore di picco

Questa funzione calcola il centro del picco selezionato col marker ed inserisce il suo valore nella linea di stato. La linea centrale del picco si può cancellare dal diagramma cliccando due volte su di essa.

Altre valutazioni —> Calcola il fattore di forma
(adatto solo per curve periodiche)

Per il campo selezionato $[t_1,t_2]$ di un segnale periodico (p. es. U(t)) vengono calcolati i seguenti valori e visualizzati nella linea di stato:

- Valore medio rettificato (media del valore assoluto)
  $$U_{ABS\,MEAN} = \int_{t_1}^{t_2} |U(t)| \cdot dt / (t_2 - t_1)$$
- Valore efficace
  $$U_{RMS} = \sqrt{\int_{t_1}^{t_2} U^2(t) \cdot dt / (t_2 - t_1)}$$
- Fattore di Forma
  $$f = U_{RMS} / U_{ABS\,MEAN}$$

Per questi calcoli, si dovrebbe selezionare sempre un numero intero di periodi.

Altre valutazioni —> Calcola l'ondulazione
(adatto solo per curve periodiche)

Per il campo selezionato $[t_1,t_2]$ di un segnale periodico (p. es. U(t)) vengono calcolati i seguenti valori e visualizzati nella linea di stato:

- Valore medio
  $$U_{MEAN} = \int_{t_1}^{t_2} U(t) \cdot dt / (t_2 - t_1)$$

- Valore efficace

$$U_{RMS} = \sqrt{\int_{t_1}^{t_2} U^2(t) \cdot dt / (t_2 - t_1)}$$

- Ondulazione

$$r = \sqrt{U_{RMS}^2 - U_{MEAN}^2} / U_{MEAN}$$

Per questi calcoli, si dovrebbe selezionare sempre un numero intero di periodi.

Altre Valutazioni —> Gaussiane di fit (box MCA)
Altre Valutazioni —> Gaussiane di eguale ampiezza (box MCA)
Altre Valutazioni —> Gaussiane di eguale ampiezza relativa (box MCA)
Altre Valutazioni —> Gaussiane di energia specificata (box MCA)

Con questo menu di gaussiane o somme di gaussiane si può fare il fit di uno spettro in differenti modi.

Il risultato di un fit di Gauss è la somma di diversi termini della forma

$$A \cdot e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2},$$

dove I parametri A, μ e σ sono determinati dal fit.

Nel caso più semplice si trova la gaussiana di fit esattamente su un'area selezionata. Se si fa una somma di diverse gaussiane di fit, deve essere specificato il numero e la posizione approssimata dei singoli massimi (picchi). Questo viene fatto mediante il settaggio dei riferimenti andando avanti (valore del picco, linee verticali o selezionato da Energie dei raggi X).

Nella forma generale "Gaussiane di fit" tutti i parametri sono liberi. Per ogni gaussiana ampiezza A_i, posizione μ_i e ampiezza σ_i sono adattate come un comune offset.

Con altre voci del menu la qualità del fit può essere migliorata restringendo I gradi di libertà. Per "Gaussiane di uguale ampiezza" c'è solo un'ampiezza $\sigma = \sigma_i$. Per "Gaussiane di uguale ampiezza relativa" è $\sigma_i = \sigma_0 \cdot \mu$, così l'ampiezza delle curve aumenta con la loro energia.

Per "Gaussiane di energia specificata" le posizioni specificate dei singoli massimi non sono cambiati, quindi μ_i = costante. Tutti gli A_i e un $\sigma = \sigma_i$ vengono adattati e non ci sono offset. Questo è particolarmente adatto per il riferimento energie dei raggi X.

Altre Valutazioni —> Determina punto equivalente
(si usa soltanto per la titolazione del pH)

Il punto equivalente ed il valore pK si determinano selezionando il range sulla curva di titolazione, il risultato viene visualizzato nella linea di stato In caso di acidi forti o basi (con pK < 1), si raccomanda di contrassegnare solo l'area immediatamente prima e dopo il punto equivalente per evitare l'uscita di un valore non corretto di pK. Per cancellare il punto equivalente dal diagramma bisogna cliccare due volte su di esso.

Altre Valutazioni —> Determina sistole e diastole
(si usa soltanto per la curva della pressione del sangue)

Sistole e diastole si determinano selezionando il range sulla curva della pressione del sangue, il risultato viene visualizzato nella linea di stato. Per cancellare sistole e diastole dal diagramma bisogna cliccare due volte su di esse.

Cancella l'ultima valutazione

Annulla i risultati dell'ultima elaborazione. Questo è possibile per le seguenti funzioni:

- Inserisci Marker
- Valore Medio
- Funzione di fit
- Calcola l'integrale
- Altre Valutazioni

Più semplicemente

Da tastiera: Alt + Backspace

Cancella tutte le valutazioni

Annulla i risultati di tutte le elaborazioni. Questo è possibile per le seguenti funzioni

- Inserisci Marker
- Valore Medio
- Funzione di fit
- Calcola l'integrale
- Altre Valutazioni

Cancella serie (solo valori misurati)

Vengono cancellati i valori misurati della sezione di curva evidenziata. Questo si applica solo ai valori misurati che sono visualizzati sull'asse y. I valori che sono già stati valutati (p. es. calcolati per mezzo di una formula) o i valori sull'asse x non possono essere cancellati.

Copia Diagramma/Finestra

Le funzioni **Copia Diagramma** e **Copia Finestra** servono a copiare nella clipboard di Windows, rispettivamente, il diagramma e la finestra principale. Si ha così la possibilità di utilizzare questi dati con altri programmi di Windows.

Evidenziazione di una parte del diagramma

In alcuni casi, si presenta la necessità di evidenziare una particolare zona di un diagramma per poterla elaborare numericamente.

L'evidenziazione di un tratto di curva si ottiene tenendo premuto il pulsante sinistro del mouse e spostando il cursore lungo il tratto di curva che si vuole esaminare. Alternativamente, si può cliccare sul punto iniziale e su quello finale.

Il tratto di curva evidenziato si colora di verde.

Addizione / Sottrazione di spettri (box MCA)

Gli spettri possono essere sommati / sottratti nella vista d'assieme semplicemente trascinando uno spettro sull'altro. In alternativa il simbolo dello spettro può essere trascinato dalla linea del simbolo in un diagramma. L'operazione aritmetica ed il risultato desiderato si possono scegliere nella finestra associata.

Curve Gaussiane e frequenze di conteggio (box MCA)

Una volta calcolate le frequenze di conteggio totali sotto un picco, devono essere presi in considerazione molti dettagli che sono rilevanti in connessione con le curve Gaussiane.

In uno spettro, la frequenza di conteggio totale può essere determinata come un integrale in un certo campo, p.es. sotto un picco. Il risultato di una misura MCA, comunque, non è un integrale reale sull'asse x (energia o canali), ma semplicemente la somma sui canali che danno le unità di "eventi".

La frequenza di conteggio totale di una linea può essere anche determinata con il fit di una curva Gaussiana. Il risultato di un fit di Gauss è una somma di diversi termini della forma

$$A \cdot e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2}$$

,

dove I parametri A, μ e σ sono determinati dal fit.

Si può calcolare l'area sotto una curva Gaussiana che è

$$\int_{-\infty}^{\infty} A \cdot e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2}\, dx = A \cdot \sigma\sqrt{2\pi}$$

.

Comunque, l'unità di questo integrale reale sulla curva Gaussiana è "eventi * energia", poiché l'ampiezza σ ha l'unità "energia".

Questo risultato del fit viene convertito in frequenza di conteggio, cioè, la somma su tutti I canali, divisa l'ampiezza dell'energia di un singolo canale. L'ampiezza dell'energia di un canale è letta dalla differenza di energia ΔE fra due canali nella tabella, o è rilevata dalle proprietà di uno spettro (click sul simbolo di uno spettro con il pulsante estro del mouse).

La frequenza di conteggio totale di una curva Gaussiana in questo modo è

$$\frac{A \cdot \sigma\sqrt{2\pi}}{\Delta E}$$

I parametri A e σ sono visualizzati come risultato del fit a una curva Gaussiana, e l'ampiezza di un canale dell'energia ΔE può essere letta dalla differenza di energia fra due canali nella tabella.

La soluzione matematicamente chiara di questo problema sarebbe di misurare generalmente l'ampiezza in unità di "frequenza di conteggio per intervallo di energia", ma questo in pratica è inusuale.

Settaggi

F5

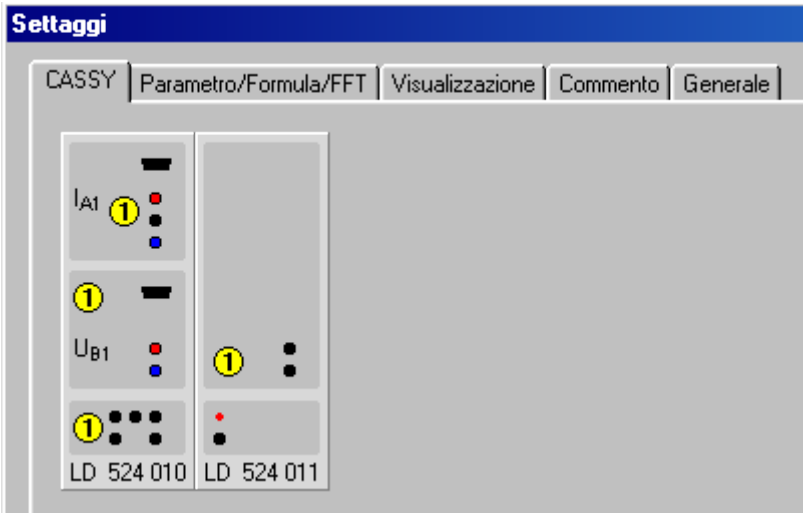
Questa finestra di dialogo serve a modificare tutte le assegnazioni esclusi i parametri di misura. I settaggi si suddividono in sei gruppi (menu):

- CASSY (definizione degli ingressi e delle uscite della CASSY)
- Parametro/Formula/FFT (definizione delle grandezze addizionali da usare come parametri, uso di una formula, FFT)
- Visualizzazione (modifica le intestazioni delle colonne della tabella e la denominazione degli assi del diagramma)
- Modellizzazione (Definizione del modello mediante equazioni differenziali)
- Commento (spazio per l'inserimento del testo)
- Generale (selezione del dispositivo seriale, interfaccia seriale e salvataggio dei valori di default)

Settaggi – CASSY

F5

Visualizza la configurazione corrente dei moduli CASSY e dei box sensori. Se la configurazione corrente cambia (ad es. per l'inserimento di nuovi moduli o di box sensori), tale cambiamento viene subito visualizzato.



Per attivare questa funzione e configurare il sistema, bisogna cliccare su un canale ①. Le grandezze disponibili dipendono dal modulo CASSY e dal box sensore collegato. Nel corso della misura, il software inserisce nella tabella e nel diagramma i valori misurati sul canale attivo. Si può anche decidere il modo di visualizzazione (assegnazione delle colonne della tabella e degli assi del diagramma).

Se i canali sono già attivi, il software non visualizza più la configurazione corrente, ma visualizza le sue eventuali variazioni. Ad esempio, dopo aver caricato un file con i valori di una misura, è facile ricostruire la configurazione dei moduli CASSY e dei box sensori usati per l'acquisizione dei dati.

Se non viene visualizzata la configurazione corrente, si può aggiornare la visualizzazione cliccando su **Aggiornamento Setup**; i canali attivi vanno persi.

Se i canali sono già attivi, per assegnare i Parametri di misura bisogna aprire la finestra di dialogo **Visualizzazione Parametri di Misura**.

Settaggi – Parametro/Formula/FFT

F5

Alcune grandezze non si possono misurare direttamente con la CASSY, perciò non sono disponibili come canali CASSY. Se è necessario inserire ugualmente tali grandezze nella tabella o nel diagramma, bisogna definirle come nuove quantità.

Nuova Quantità serve ad eseguire una nuova registrazione (dei dati) definita dal nome che si vuole attribuire alla grandezza. Alla nuova quantità deve corrispondere un simbolo che serve come indirizzo. Il simbolo deve essere formato da cinque lettere (di immediata interpretazione); esso può contenere il carattere & seguito da una lettera che il software visualizza con la corrispondente lettera greca (altrimenti si hanno solo caratteri latini). Ogni volta che si esegue una misura, è necessario adattare i valori di default della scala degli assi cartesiani (importante per rappresentare graficamente le grandezze analogiche) ed il numero di cifre decimali (importante per la rappresentazione numerica nella tabella) al range di valori che si debbono misurare.

Si possono definire otto tipi diversi di nuove quantità.

Costante

Una costante è una quantità il cui valore può essere inserito nelle formule e nei modelli con il suo simbolo. Il grande vantaggio delle costanti è il modo semplice di cambiare il loro valore trascinando l'indice del loro strumento di visualizzazione. Questo fornisce una facile possibilità di variare le formule (vedere sotto) o i modelli, per esempio in modo da avvicinare il risultato del calcolo, con la maggior precisione possibile, alla misura. Allo scopo di poter distinguere facilmente parametri e costanti da altri canali, i loro indici sono magenta.

Selezionando il campo a 0-1 e il numero delle posizioni decimali a zero, le costanti binarie (Interruttori) possono essere definite in modo da poter commutare ciccando sullo strumento di visualizzazione.

Parametro

Ad ogni parametro è riservata una colonna della tabella. Tutti i valori numerici che compaiono in questa colonna si possono inserire con la tastiera. Per inserire tali valori prima o dopo una misura, si seleziona una cella con il mouse e si inseriscono i dati con la tastiera. È opportuno inserire un parametro **prima** di eseguire la misura in modo da far apparire sul diagramma il valore giusto mentre il valore del vecchio parametro non è stato ancora utilizzato.

Alternativamente, mediante il pulsante sinistro del mouse, si può specificare il valore del parametro attraverso l'apposita tabella dei settaggi o variare tale parametro nello strumento. Allo scopo di poter distinguere facilmente parametri e costanti da altri canali, i loro indici sono magenta.

Formula

È possibile determinare una nuova grandezza mediante una formula matematica, senza utilizzare direttamente i valori numerici delle altre grandezze. L'indirizzamento ai valori noti delle altre grandezze viene gestito dal programma attraverso i simboli usati nella formula. Nell'inserire la formula, bisogna fare attenzione ad usare in modo corretto la sintassi (vedere alcuni esempi). Allo scopo di poter distinguere facilmente le quantità convertite da altri canali, i loro indici sono violetto.

Se le vecchie formule dipendono da una nuova quantità, prima si deve cambiare l'ordine delle quantità con i pulsanti rapidi nelle linea superiore mediante il trascina & incolla. Tutte le variabili di una formula devono trovarsi sulla sinistra della rispettiva formula.

Derivata, Integrale, Valore Medio, FFT (trasformata di Fourier), Istogramma

Per la derivata rispetto al tempo, l'integrale rispetto al tempo e la FFT (trasformata di Fourier), cliccare semplicemente sul canale in cui si vogliono eseguire tali operazioni. Per calcolare il valore medio è necessario specificare anche l'intervallo di tempo nel quale si trovano i valori utilizzati per tale calcolo. Maggiore è tale intervallo di tempo, tanto più attendibile è il risultato ottenuto. Per l'istogramma, la larghezza del canale viene specificata in aggiunta. Per la FFT, il software genera automaticamente anche lo **spettro di frequenza**, e per l'istogramma il software genera automaticamente la **distribuzione di frequenza**; questo ulteriore modo di visualizzazione si attiva utilizzando le tabelle. I Allo scopo di poter distinguere facilmente le quantità convertite da altri canali, i loro indici sono violetto.

Note

Con intervalli di tempo Δt molto piccoli, ogni operazione di derivata determina un peggioramento della risoluzione. Per esempio, se nella misura di uno spostamento si ha una risoluzione Δs = 1 mm e la misura viene eseguita in un intervallo di tempo Δt = 100 ms, con la derivata prima v(i) = (s(i+1)-s(i-1))/2Δt si ha una risoluzione Δv = 0,005 m/s, con la derivata seconda si ha una risoluzione Δa = 0,025 m/s^2. Con un intervallo di tempo Δt = 50 ms gli errori aumentano a Δv = 0,01 m/s e Δa = 0,1 m/s^2. Per questo motivo, il valore di Δt deve essere più alto possibile (per es. 200 ms per i moti su rotaia o 50 ms per le oscillazioni di una molla).

La massima frequenza di una FFT è uguale a metà della frequenza di campionamento. Perciò, se la misura viene eseguita in un intervallo di tempo Δt = 10 µs (f = 100 kHz), il campo di frequenza della FFT si estende fino a 50 kHz. In questo campo di frequenza, la risoluzione dipende dal numero di valori misurati; se tale numero aumenta, migliora anche la risoluzione in frequenza dello spettro.

Lettere greche

&a	&b	&c	&d	&e	&f	&g	&h	&i	&j	&k	&l	&m	&n	&o	&p	&q	&r	&s	&t	&u	&v	&w	&x	&y	&z
α	β	χ	δ	ε	ϕ	γ	η	ι	φ	κ	λ	µ	ν	ο	π	θ	ρ	σ	τ	υ	ϖ	ω	ξ	ψ	ζ
&A	&B	&C	&D	&E	&F	&G	&H	&I	&J	&K	&L	&M	&N	&O	&P	&Q	&R	&S	&T	&U	&V	&W	&X	&Y	&Z
Α	Β	Χ	Δ	Ε	Φ	Γ	Η	Ι	ϑ	Κ	Λ	Μ	Ν	Ο	Π	Θ	Ρ	Σ	Τ	Υ	ς	Ω	Ξ	Ψ	Ζ

Settaggi – Visualizzazione

F5

La visualizzazione consiste in una tabella e in un diagramma con un asse x e fino ad un massimo di 8 assi y. Ad ogni asse si può assegnare una grandezza diversa, eventualmente convertibile (x^2, 1/x, $1/x^2$, log x). Per l'asse x sono state predefinite tre ulteriori grandezze: n (riga della tabella), t (tempo), f (frequenza per la FFT).

Quando si utilizzano più assi delle ordinate, si possono visualizzare le diverse scale dell'asse y cliccando sul pulsante della grandezza corrispondente. In questo modo s'interviene solo sulla visualizzazione delle coordinate e non sulle altre elaborazioni.

Se una visualizzazione non è sufficiente, se ne può attivare un'altra con la funzione **Nuova Visualizzazione**; il nome da assegnare alla nuova visualizzazione compare nella nuova tabella della finestra principale sotto la barra dei pulsanti. In questo modo è possibile passare da una visualizzazione all'altra usando il mouse.

In ogni visualizzazione può essere fatta una scelta fra coordinate cartesiane e polari. Nei diagrammi cartesiani c'è un'opzione per la rappresentazione dei valori come un diagramma a barre (istogramma) per ogni asse y. Nei diagrammi polari come coordinata x si sceglie un angolo (campo da 0° a 360°). Quindi ogni coordinata y è interpretata come la grandezza di un numero complesso, che è rappresentato con l'angolo corrispondente. Qui non è necessario che l'origine sia a r = 0 ma può essere anche negativa (p. es. per la rappresentazione dei diagrammi polari delle antenne in dB).

Nota

Alternativamente, i canali visualizzati si possono spostare avanti ed indietro e portarli dai pulsanti di canale verso la tabella e il diagramma (trascina ed incolla).

Se il mouse è puntato su una riga, si può eseguire la conversione matematica degli assi (x^2, 1/x, $1/x^2$, log x) e modificare il massimo e minimo della scala con il pulsante destro del mouse. È anche possibile spostare la riga dopo averla agganciata con il pulsante sinistro del mouse.

Settaggi – Modellizzazione

F5

I tool di modellizzazione permettono di confrontare valori misurati su oggetti reali con un modello matematico. In particolare, costanti adeguate possono essere scelte e variate in modo che il modello si avvicini alla realtà con la maggior precisione possibile. In contrasto con un fit (p. es. fit libero), dove l'equazione che definisce la funzione deve essere conosciuta dall'inizio, la corretta modellizzazione richiede l'immissione di una o due equazioni differenziali del primo ordine.

Per realizzare questo, **Nuovo Modello** crea all'inizio una nuova serie di dati con il nome del modello. Il modello è descritto in termini di uno o due quantità del modello, a ognuna delle quali viene assegnato un simbolo, sotto il quale può essere indirizzata (default x e y). Per un simbolo si potrebbero scegliere poche lettere significative. E' anche possibile usare un carattere & seguito da una lettera. In questo caso viene visualizzata la corrispondente lettera greca (altrimenti viene visualizzata la lettera latina). Oltre a questo, I valori proposti per il campo di misura e la scala degli assi (importante per le rappresentazioni analogiche e grafiche) e il numero di posizioni decimali significative (importante per le rappresentazioni digitali e tabulate) devono essere adattate alle singole richieste. Allo scopo di poter distinguere facilmente le quantità del modello dagli altri canali, il loro indice è blu.

Per la definizione matematica del modello, vengono specificate I valori iniziali delle due quantità definite per il modello nel tempo t e le due equazioni differenziali. Devono essere inseriti questi cinque valori numerici o le formule, per le quali deve essere osservata la corretta notazione della formula. Ciascuna delle cinque formule può dipendere da costanti, I cui valori possono essere variati dall'esterno trascinando l'indice dello strumento di visualizzazione. In aggiunta, le due equazioni differenziali possono dipendere da un tempo t di misura, dalle due quantità definite per il modello e dalle formule, che, a rotazione, possono solo dipendere da costanti o dal tempo t di misura. Tutte le dipendenze consentite delle equazioni differenziali sono elencate davanti al loro campo di immissione.

Di solito nel processo di modellizzazione sono definite una o due equazioni differenziali del primo ordine. Il **2° Ordine** si fa per inserire più facilmente una equazione differenziale del secondo ordine: la prima equazione differenziale riporta automaticamente alle due quntità x e y del modello secondo x'=y, e la seconda equazione differenziale ha la forma y'=x''=f(t,x',x''). Prendendo l'equazione del moto come esempio, si ha s=x e v=y=x'. Solo allora può essere inserita l'equazione differenziale s''=v' (=a=F/m).

La **Precisione** selezionabile dà il criterio di troncamento, che determina quando è terminata l'integrazione numerica dell'equazione differenziale. Una precisione più bassa porta a un tempo di calcolo più breve, ma anche a un errore maggiore del risultato. La precisione aumenta anche con la scelta di un campo più piccolo per la prima quantità del modello.

Il **Tempo di calcolo** selezionabile determina il tempo Massimo disponibile per l'integrazione numerica dell'equazione differenziale. Se il tempo di calcolo è troppo breve rispetto alla precisione specificata, i valori calcolati partono all'istante di avvio selezionato, ma si fermano troppo presto.

Esempi

L'esempio più conosciuto di una equazione differenziale del secondo ordine è certamente l'equazione del moto di Newton F=m·a o s''=F(s,v,t)/m. In questo caso, le due quantità del modello sono lo spazio s e la velocità v, e la prima equazione differenziale è s'=v. La forza acceleratrice F dalla seconda equazione differenziale s''=v'=(F_1+F_2+F_3)/m dipende dall'esperimento particolare ed è, p.es.:

F_1 = –m·g per esperimenti di caduta libera
F_1 = –D·s per oscillazioni di una molla

In aggiunta, possono presentarsi vari tipi di attrito, che generano forze aggiuntive:

F_2 = –c·sgn(v) per attrito di Coulomb (p. es. attrito fra solidi)
F_2 = –c·sgn(v)·|v| per attrito di Stokes (p. es. Attrito di un fluido laminare)
F_2 = –c·sgn(v)·$|v|^2$ per attrito di Newton (p. es. Resistenza aerodinamica, attrito di un fluido turbolento)

Nelle oscillazioni forzate (risonanza), si aggiunge una forza di eccitazione, p. es.:

F_3 = A·sin(360·f·t), sin calcola il seno dell'argomento in gradi
F_3 = A·rsin(ω·t), rsin calcola il seno dell'argomento misurato in radianti

Se si combinano varie forze, si possono progettare un apprezzabile numero di esperimenti, che possono essere facilmente studiati nella struttura di modellizzazione.

Ulteriori esempi che si suggeriscono sono carica e scarica di un condensatore, filtri passa alto e passa basso, tutti possono essere descritti da una equazione differenziale del primo ordine $Q'=(U_0–Q/C)/R$ per la carica Q del condensatore.

Negli esempi di esperimenti, la modellizzazione è applicata in diversi casi:

- Caduta libera con scala-g (con modellizzazione)
- Oscillazioni di un pendolo a molla (con modellizzazione)
- Oscillazioni di un pendolo a molla con attrito fra solidi (con modellizzazione)
- Oscillazioni di un pendolo a molla con attrito con lubrificante (con modellizzazione)
- Oscillazioni di un pendolo a molla con attrito di un liquido (con modellizzazione)
- Oscillazioni di un pendolo a molla con attrito di un liquido in turbolenza/attrito dell'aria (con modellizzazione)
- Carica e scarica di un condensatore (con modellizzazione)
- Oscillatore smorzato (con modellizzazione)
- Oscillazioni forzate (risonanza, con modellizzazione)
- Filtro passa basso (con modellizzazione)
- Filtro passa alto (con modellizzazione)

Settaggi – Commento

F5

Questa funzione serve ad inserire un testo e migliorare, così, la documentazione dell'esperimento; il testo va salvato nel file relativo all'esperimento. È anche possibile inserire il testo dalla clipboard mediante Ctrl + V.

Settaggi – Generale

F5

La tabella **Generale** serve a cambiare l'interfaccia seriale del computer collegata con la CASSY o con altri strumenti di misura della serie. Per i moduli CASSY sulla porta USB (Windows 98/2000 o versioni successive), non è necessario specificare la porta seriale – I moduli saranno automaticamente riconosciuti. In questa tabella si può anche cambiare la lingua del software.

È possibile salvare i cambiamenti eseguiti in modo da averli sempre a disposizione ogni volta che si utilizza il software; per tale operazione bisogna selezionare **Salva Nuovo Default**. Contemporaneamente, vengono salvati i seguenti settaggi:

- Seleziona dimensione del carattere
- Visualizza Coordinate
- Seleziona Larghezza Linea
- Seleziona Visualizzazione Valori
- Seleziona Righe
- Mostra Griglia

I moduli CASSY descritti identificano i dispositivi trovati e le informazioni sulla versione del software installato. Se tale versione non è più aggiornata, compare un messaggio. Selezionando **Aggiornamento Moduli CASSY**, il software installato viene sostituito dalla nuova versione.

Avviso

Se il software installato non è più aggiornato, è possibile scaricare l'ultima versione dal sito: http://www.ld-didactic.de.

- Scarica aggiornamento da Internet.

Formule matematiche

Variabili della formula f(time, date, n, t, … old)

La formula f(…) può dipendere anche dai vari canali elencati successivamente, è sufficiente utilizzare il nome del canale come variabile. Per esempio, il risultato della formula **UA1 > 5** è 1 se la tensione è maggiore di 5 V, altrimenti è zero.

Formula per	**dipende da**
Condizioni di misura	tutti i canali
Formula	ingressi, costanti, strumenti di misura della serie e formule precedenti
Relè/Generatore di tensione	ingressi, costanti, strumenti di misura della serie, formule
Uscita analogica	ingressi, costanti, strumenti di misura della serie, formule
Uscita digitale	ingressi, costanti, strumenti di misura della serie, formule
Modello	Quantità del modello, costanti e formule che dipendono solo dal tempo t

La formula può dipendere dal **time** espresso in secondi, dalla **date**, da una misura del tempo **t** espresso in secondi, dal numero **n** di misure eseguite e dall'ultimo valore **old** fornito da una formula. Alla fine di una formula si può aggiungere un commento separandolo con un punto e virgola.

I simboli contengono il carattere & seguito da una lettera che il software visualizza con la corrispondente Lettera Greca (altrimenti si hanno solo caratteri latini). Bisogna inserire il carattere & nella formula.

Funzioni di una formula

All'interno di una formula, si possono usare le seguenti funzioni. Gli argomenti composti debbono essere messi fra parentesi, per es. **square(t/10)**.

ramp	Rampa (dente di sega tra 0 ed 1, ramp(x) = frac(x))
square	Funzione onda quadra (tra 0 ed 1, square(x) = ramp(x) < 0.5)
saw	Funzione triangolare (tra 0 ed 1)
shift	Rampa singola (è 0 se argomento < 0, 1 se argomento > 1, altrimenti è uguale all'argomento)
sin	Seno in gradi (periodo 360°)
cos	Coseno in gradi (periodo 360°)
tan	Tangente in gradi (periodo 360°)
arcsin	Arcoseno in gradi
arccos	Arcocoseno in gradi
arctan	Arcotangente in gradi
rsin	Sine of the argument in radian measure (period 2π)
rcos	Cosine of the argument in radian measure (period 2π)
rtan	Tangent of the argument in radian measure (period 2π)
rarcsin	Arc sine in radian measure
rarccos	Arc cosine in radian measure
rarctan	Arc tangent in radian measure
last	Argomento è l'istante in cui si esegue l'ultima misura (ultima riga della tabella)
delta	Variazione rispetto all'ultima misura (delta(x) = x-last(x))
next	Argomento è l'istante in cui si esegue la misura successiva (riga successiva della tabella)
new	è 1 se cambia l'argomento, altrimenti è 0
random	Numero casuale (0 <= random(x) < x)
sqr	Radice quadrata
exp	Funzione esponenziale
ln	Logaritmo naturale
log	Logaritmo decimale
int	Funzione numero intero (approssima al numero intero inferiore)
frac	Funzione parte decimale (differenza rispetto al numero intero inferiore)
abs	Valore assoluto
sgn	Segno (è 1 se argomento > 0, -1 se argomento < 0, 0 se argomento = 0)
odd	è 1 se l'argomento è dispari, 0 se l'argomento è pari
even	è 1 se l'argomento è pari, 0 se l'argomento è dispari
not	Negazione logica (è 1 se argomento = 0, altrimenti è 0)
defined	è 1 se l'argomento è definito, 0 se l'argomento non è definito
sec	Arrotonda il valore del tempo al numero intero di secondi più vicino (sec(x) = int(x))

min	Arrotonda il valore del tempo al numero intero di minuti più vicino (min(x) = 60*int(x/60))
day	Restituisce il giorno della settimana (1 = Lunedì, …)

Collegamento tra variabili e funzioni

Tutte le variabili (o i valori numerici) si possono collegare fra loro con una formula utilizzando le solite operazioni matematiche.

All'interno della formula, i vari operatori hanno differenti priorità. Il seguente elenco riporta tutti gli operatori ordinati secondo il proprio grado di priorità a partire da quello di massima priorità. Se non si rispetta tale ordine, le formule danno dei risultati errati.

1)	**^**	Elevazione a potenza
2)	*****	Moltiplicazione
	/	Divisione
3)	**+**	Addizione
	-	Sottrazione
4)	**=**	Verifica di uguaglianza
	<>	Verifica di disuguaglianza
	>	Maggiore di
	>=	Maggiore o uguale a
	<	Minore di
	<=	Minore o uguale a
5)	**and**	Operazione logica AND
6)	**or**	Operazione logica OR

Esempi sull'uso delle variabili time, date, n, t, old

t <= 100

ha valore 1 durante i primi 100 s di una misura, trascorso tale intervallo di tempo ha valore 0. Ad esempio, questa formula si può usare per arrestare una misura dopo 100 s.

time >= 12:30:35

alle ore 12:30:35 ha valore 1, precedentemente ha valore 0. Si può usare l'operatore >= poiché, in pratica, la condizione di uguaglianza non influisce in quanto si verifica solo per 1/100 di secondo.

min(time) = 11:45 and date = 18.3.1997

è vera solo per un minuto a partire dalle ore 11:45 del 18 Marzo 1997 (valore 1), altrimenti è falsa (valore 0).

(T < 25) or (T < 27 and old)

realizza un regolatore a due posizioni. Se la temperatura T è minore di 25 °C, il risultato della funzione è 1 (per esempio, impianto di riscaldamento in funzione). Se la temperatura è minore di 27 °C **ed** impianto di riscaldamento sta funzionando, resta ancora in funzione. Se la temperatura supera i 27 °C, l'impianto di riscaldamento viene disattivato e rimane in questa condizione finché la temperatura non scende sotto i 25 °C.

0.5 * (n – 1)

ad esempio, calcola un volume in base al numero di misure eseguite. In questo caso, se ad ogni misura corrispondono 0,5 ml, il volume si ottiene moltiplicando tale valore per n. Nella prima riga della tabella n è uguale ad 1.

Esempi sulla generazione di funzioni

ramp(t/10)

genera una rampa con periodo di 10 secondi (t è il tempo misurato in secondi con valore uguale a 0 nell'istante in cui inizia la misura). La rampa inizia da 0 e termina ad 1. Se si vuole ottenere un'ampiezza diversa, bisogna sommare o moltiplicare la funzione per il valore dell'ampiezza desiderata.

saw(t/5)

genera una forma d'onda triangolare ("dente di sega") con un periodo di 5 secondi.

square(t/5)

genera un'onda quadra con un periodo di 5 secondi. La funzione varia alternativamente tra 0 ed 1 ogni 2,5 secondi.

10*(ramp(t/10) < 0.4)

anche in questo caso si ottiene un'onda quadra, solo che ora la funzione ha ampiezza 10 e duty cycle uguale a 40%. L'espressione tra parentesi vale 1 (vero) per il 40% del periodo, nel restante 60% vale 0 (falso).

shift((time-12:30)/100)

genera una sola rampa che inizia alle ore 12:30 ed ha una durata di 100 secondi. In questo intervallo di tempo, il valore della formula aumenta linearmente fino a raggiungere il valore 1.

sin(360*t/7)

genera un'oscillazione sinusoidale di ampiezza 1 e periodo 7 secondi.

Esempi sulla priorità delle espressioni aritmetiche

x+y^z*2

contiene, nell'ordine, gli operatori ^,* e +. In questo caso, per prima viene eseguita l'operazione y^z, il risultato viene moltiplicato per due ed infine si somma x. Per invertire tale ordine, bisogna mettere le rispettive espressioni fra parentesi.

(x+y)^(z*2)

contrariamente all'esempio precedente, in questo caso vengono eseguite per prime la somma x+y ed il prodotto z*2. Il risultato finale si ottiene con una elevazione a potenza utilizzando come base il primo risultato e come esponente il secondo.

Esempi di operazioni con le funzioni Booleane

x < 5

si ottiene il valore 0 (falso, per x >= 5) oppure 1 (vero, per x < 5).

x1 < 5 and x2 > 0

si ottiene il valore 1 (vero quando sono verificate contemporaneamente le condizioni x1 < 5 e x2 > 0), altrimenti il valore 0. Non è necessario mettere le parentesi perché la priorità dell'operatore **and** è inferiore a quella dell'operatore < and >.

5*(T < 20)

dall'espressione tra parentesi si ottengono i valori 0 (falso) ed 1 (vero); tali valori sono moltiplicati per 5. Questo tipo di formula si usa soltanto per le uscite analogiche. In questo caso, per T < 20 (per es. una temperatura), sull'uscita analogica si ha una tensione di 5 V.

time >= 12:30

alle ore 12:30 assume il valore 1, prima di tale ora il suo valore è 0. Si può usare l'operatore >= poiché, in pratica, la condizione di uguaglianza non influisce in quanto si verifica solo per 1/100 di secondo.

sec(time) = 11:45:07 and date = 18.3.1997

è vera solo per un secondo alle ore 11:45:07 del 18 Marzo 1997 (valore 1), altrimenti è falsa (valore 0).

day(date) = 1

è vera ogni Lunedì (valore 1), negli altri giorni è falsa (valore 0).

Esempi di formule

Regolatore semplice: ϑA11<25

(ϑ inserito come &J) è uguale ad 1 se la temperatura è minore di 25 °C, altrimenti è uguale a 0 (per es. nel controllo di un riscaldatore).

Regolatore a due posizioni: ϑA11<25 or (ϑA11<27 and old)

(ϑ inserito come &J) è uguale ad 1 se la temperatura è minore 25 °C oppure – nel caso che il valore della formula sia già 1 – minore di 27 °C, altrimenti è uguale a 0 (per es. nel controllo a due posizioni di un riscaldatore). Il regolatore mette in funzione il riscaldatore se la temperatura è inferiore a 25 °C, lo disattiva al di sopra di 27 °C.

Rampa: 8*ramp(t/10)

Genera una rampa che varia da 0 ad 8 con un periodo di 10 s (0,1 Hz).

Onda quadra con duty cycle prestabilito: ramp(t/10) < 0.8

Genera un'onda quadra con un periodo di 10 s (0,1 Hz). Il valore dell'onda quadra è uguale ad 1 per 8 s, uguale a 0 per 2 s.

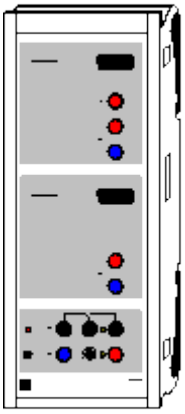
Correzione del pH in funzione della temperatura: 7+(pHA1-7)*(25+273)/(ϑB1+273)

(ϑ inserito come &J) corregge il valore pH_{A1} del pH al variare della temperatura ϑ_{B1} rispetto a 25 °C.

Correzione della conducibilità in funzione della temperatura: CA1/(1+(ϑB1-25)/45)

(ϑ inserito come &J) corregge il valore C_{A1} della conducibilità al variare della temperatura ϑ_{B1} rispetto a 25 °C.

Sensor-CASSY



Introduzione

Sensor–CASSY (rispettivamente USB o seriale) è un dispositivo che permette di registrare i dati di una misura; le sue caratteristiche principali sono:

- Possibilità di collegare un altro modulo CASSY o il CASSY display rispettivamente alla porta USB o all'interfaccia seriale RS-232 del computer.
- Quattro porte isolate elettricamente tra loro (ingressi A e B, relè R, generatore di tensione S).
- Possibilità di collegare in cascata fino ad un massimo di 8 moduli CASSY (per l'espansione degli ingressi e delle uscite).
- Un massimo di 8 ingressi analogici adattabili a Sensor-CASSY mediante i box sensori.
- Individuazione automatica del box sensore da parte di CASSY Lab (plug and play)
- Controllo a microprocessore con sistema operativo CASSY (aggiornamento e miglioramento delle funzioni facilmente ottenibili via software).
- Utilizzabile su tavolo, su consolle oppure come unità da dimostrazione (anche con telai CPS/TPS per pannelli).
- Tensione di alimentazione 12 V AC/DC tramite spinotto o un altro modulo CASSY.

Possibilità di scaricare tutte le informazioni utili a sviluppare meglio il proprio software.

Norme di sicurezza

- Per motivi di sicurezza, non collegare Sensor-CASSY a tensioni maggiori di 100 V.
- Trasportare i moduli CASSY singolarmente oppure montati su telaio (la stabilità meccanica dei collegamenti che si può ottenere senza telaio è sufficiente soltanto per gli esperimenti, ma non per il trasporto).
- Alimentare i moduli CASSY utilizzando esclusivamente l'alimentatore a spina (12 V/1,6 A) in dotazione.
- Un Sensor-CASSY può alimentare un altro modulo con assorbimento di corrente non superiore a 1,6 A (sufficiente per 2 moduli; in caso di sovraccarico, l'alimentazione viene tolta automaticamente). Se si usano Sensor-CASSY addizionali, bisogna alimentarli separatamente.

Dati Tecnici

5 Ingressi analogici (i due ingressi A e B si possono usare contemporaneamente)
- 2 Ingressi analogici di tensione in A e B con boccole di 4 mm a norma di sicurezza
  - Risoluzione: 12 bit
  - Intervalli di misura: ±0,3/1/3/10/30/100 V
  - Errore della misura: ±1 % più 0,5 % del valore di fondo scala
  - Resistenza di ingresso: 1 MΩ
  - Velocità di scansione: max. 200.000 valori/s (= 100.000 valori/s per ingresso)
  - No. valori medi: virtualmente illimitati (dipende dal PC) fino a 100 valori/s, con un tasso di misura più alto max. 32.000 valori (= 16.000 valori per ingresso)
- 1 Ingresso analogico di corrente in A con boccola di 4 mm a norma di sicurezza
  - Intervalli di misura: ±0,1/0,3/1/3 A
  - Errore della misura: errore di tensione più 1 %
  - Resistenza di ingresso: < 0,5 Ω (esclusa la condizione di sovraccarico)
  - Per gli altri dati, vedere ingressi tensione
- 2 Ingressi analogici in A e B di collegamento al box sensore
  (Si possono collegare tutti i sensori e tutti i box della CASSY)
  - Intervalli di misura: ±0,003/0,01/0,03/0,1/0,3/1 V
  - Resistenza di ingresso: 10 kΩ
  - Per gli altri dati, vedere ingressi tensione
  - I dati tecnici possono cambiare in funzione del box sensore collegato. In questo caso, quando si collega un box sensore, CASSY Lab individua automaticamente le grandezze che si possono misurare ed il range di misura.

4 Ingressi timer in A e B con contatori a 32 bit per il box sensore
(per es. BMW box, GM box oppure timer box)
- Frequenza contatore: max. 100 kHz
- Tempo di risoluzione: 0,25 µs
- Tempo di misura tra due eventi sullo stesso ingresso: min. 100 µs
- Tempo di misura tra due eventi su ingressi differenti: min. 0,25 µs
- Memoria: max. 10.000 istanti (= 2.500 valori per ciascun ingresso)

1 Relè commutatore (commutazione segnalata da LED)
- Range: max. 100 V / 2 A

1 Uscita Analogica (uscita PWM) (**P**ulse **W**idth **M**odulated, generatore di tensione commutabile, LED indicatore stato di commutazione, per es. per magnete a ritenuta o per alimentare un esperimento).
- Intervallo di variazione della tensione: max. 16 V / 200 mA (carico ≥ 80 Ω)
- Range PWM: 0 % (off), 5-95 % (1 % risoluzione), 100 % (on)
- Frequenza PWM: 100 Hz

12 Ingressi digitali (TTL) in A e B per il box sensore
(utilizzati solo per la rivelazione automatica del box sensore)

6 Uscite digitali (TTL) in A e B per il box sensore
(utilizzate soltanto per cambiare automaticamente il campo di misura del box sensore)

1 Rispettivamente porta USB (versione USB), interfaccia seriale RS-232 (subD-9) per il collegamento al computer

1 Bus CASSY per collegare altri moduli CASSY o il CASSY display.

Dimensioni (WxHxD): 115 mm x 295 mm x 45 mm
Peso: 1 kg

La fornitura comprende

1 Sensor-CASSY
1 Software CASSY Lab per Windows 98/2000/XP/Vista o versioni successive, privo del codice di attivazione, con funzioni guida molto esaurienti (20 sessioni di facile consultazione ed usabili in versione demo)
1 Guida all'installazione
1 Cavo USB o cavo seriale (subD-9)
1 Alimentatore a spina 12 V / 1,6 A

Settaggi ingresso sensore

Sensor-CASSY è dotato di due ingressi A e B isolati elettricamente che si possono usare per acquisire una tensione (oppure una corrente attraverso l'ingresso A) o per misurare altre grandezze – attraverso il box sensore collegato al sistema. CASSY Lab rileva **automaticamente** la presenza del box sensore e le opzioni riguardanti la misura, per es. visualizza la configurazione della CASSY con i suoi ingressi ed i box sensori che vi sono collegati. Attraverso questa rappresentazione si può configurare il sistema di misura cliccando con il mouse.

Le grandezze da misurare ed i range di misura dipendono dal box sensore collegato al sistema. Infatti, in base al tipo di misura che si vuole eseguire, bisogna scegliere il box sensore appropriato (vedere catalogo).

Si può misurare la grandezza selezionata in istanti successivi, determinare il valore medio dei dati acquisiti o il valore RMS. Normalmente, è sufficiente misurare i **valori istantanei** senza determinare il valore medio. La misura del **valore medio** è necessaria quando al segnale d'ingresso si sovrappone un disturbo o un rumore di fondo. Nel caso di una tensione AC, di solito si misura il **valore RMS** (dalla misura del valore RMS di due canali, si ottiene automaticamente il cos φ). Se l'intervallo di tempo è minore di 10 ms, i valori inseriti nella tabella e nel diagramma possono essere diversi da quelli misurati con uno strumento. Per questo motivo, è opportuno visualizzare contemporaneamente la forma d'onda ed il valore RMS del segnale.

Come standard in un intervallo di tempo di 100 ms vengono calcolati I valori medi ed I valori efficaci. Questo intervallo di tempo può essere globalmente cambiato per tutti i canali. Se si usa il Power-CASSY o Profi-CASSY, questo intervallo di tempo viene cambiato in frequenza del segnale di uscita, in modo da valutare sempre un numero intero di periodi.

Se i valori ottenuti dalla misura sono poco precisi, si può migliorare la precisione con una correzione. Ad esempio, questa necessità si presenta quando si deve adattare al software un particolare elettrodo come quello usato per la misura del pH.

Pulsanti speciali (a volte nascosti)

Box-LED	LED sul box sensore on/off, per es. UNIFORME (bridge box) oppure COMPENSAZIONE (necessario per la compensazione del box B)
—> 0 <—	Regolazione azzeramento (regola il valore di corrente necessario per l'azzeramento), per es. misure di spostamento, forza, pressione, eventi, urto)
s <—> –s	Cambiamento di segno per lo spostamento (sensore di spostamento con il BMW box)

Queste sono funzioni speciali che servono a semplificare l'uso di BMW box, GM box e timer box (per es. temporizzazione, larghezza di un bandierina di interruzione) e sono visibili solo quando il box corrispondente è collegato al sistema.

Quando si usa il box prova reazione, prima di tutto bisogna generare il segnale di reazione chiudendo un interruttore (spingendo su di esso con la mano o con il piede). Il colore dell'indice dello strumento (rosso, verde o giallo) concorda con il segnale di reazione.

Sensore d'ingresso e misura di grandezze fisiche

La misura di una grandezza fisica dipende dal sensore d'ingresso e dal box sensore utilizzato. La seguente tabella illustra la corrispondenza tra box sensore, grandezza da misurare e sensore:

Box sensore	**Grandezza**	**Sensore**	**Osservazione**
Nessuno	Tensione		
	Corrente		Solo ingresso A e per correnti minori di 3 A
Box generatore di corrente (524 031)	Resistenza		
	Spostamento	Trasduttore di posizione (529 031)	Potenziometro per misure di spostamento
BMW box (524 032)	Spostamento (Δs=±1 mm)	Sensore di spostamento (337 631*)	Boccola superiore del BMW box con direzione del moto
	Rotazione (Δs=±1 mm)	come sopra	come sopra Inserire anche il raggio
	Spostamento (Δs=+1 cm)	Coppia di carrucole (337 16*)	Boccola inferiore del BMW box Usare solo prima carrucola
	Rotazione (Δs=+1 cm)	come sopra	come sopra Inserire anche il raggio
GM box (524 033)	Eventi	Contatore (z. B. 559 01)	Inserire tempo di conteggio
	Tasso	come sopra	per visualizzare anche la distribuzione
Tubo contatore Geiger-Müller S (524 0331)	Eventi	integrato	Inserire tempo di conteggio
	Tasso	integrato	come sopra per visualizzare anche la distribuzione
Timer box (524 034)	Livello		
	Eventi		
	Frequenza		Inserire tempo di conteggio
	Tasso		come sopra per visualizzare anche la distribuzione della frequenza
	Periodo		
	Tempo di transito		degli eventi da E a F
	Oscuramenti	Barriera luminosa a forchetta(337 46*)	Numero oscuramenti
	Tempo di oscuramento	come sopra	Durata oscuramento
	Spostamento (Δs=1 cm)	Ruota a raggi (per es. 337 461) o scala -g (529 034) e barriera luminosa a forchetta (337 46*)	
	Rotazione (Δs=1 cm)	come sopra	Inserire raggio
	Collisione lineare (v)	2 barriere luminose (337 46*)	Inserire larghezza bandierina
	Collisione angolare (ω)	come sopra	Inserire larghezza bandierina e raggio
pH box (524 035)	Valore di pH	Elettrodo per pH (per es. 667 424)	Corretto con due soluzioni tampone Possibile compensazione della temperatura mediante formula Speciale valutazione per punto di equivalenza
	Tensione	come sopra	
KTY box (524 036)	Temperatura	Sensore KTY (529 036)	
	Resistenza	come sopra	
Box per conducibilità (524 037)	Conducibilità	Bobina per misure di conducibilità (667 426)	Corretto del fattore k stampato sopra Possibile compensazione della temperatura mediante formula
Box B (524 038)	Densità flusso magn.	Sonda tangenziale B (516 60*) o Sonda assiale B (516 61*)	Interruttore sul box con **Box-LED** per calibraz. offset mediante **—> 0 <—**

	Pressione relativa (2000 hPa)	Sensore di pressione (529 038*)	come sopra
	Pressione relativa (70 hPa)	Sensore di pressione, 70 hPa (529 040*)	come sopra
	Pressione assoluta	Sensore di pressione assoluta (529 042*)	come sopra
Sonda combinazione B (524 0381)	Densità flusso magn. (tangenziale o assiale)	integrato	Calibraz. offset mediante **—> 0 <—**
Sonda assiale B (524 0382)	Densità flusso magn. (assiale)	integrato	Calibraz. offset mediante **—> 0 <—**
Box dU (524 039)	Tensione		No longer necessary thanks to electrical isolation
Box µV(524 040)	Tensione		Elevata sensibilità (risoluzione di 0,5 µV)
Box ponte (524 041)	Forza	Sensore di forza (314 261*)	**Box-LED** su UNIFORME o non uniforme; Sostituito da sensore di forza S, ±1 N
Sensore di forza S, ±50 N (524 042)	Forza	integrato	Per forze più grandi fino a 50 N
	Accelerazione	integrato	
Box 30-A (524 043)	Corrente		Solo per correnti elevate (altrimenti senza box su A)
Sensore di temperatura S (NTC) (524 044)	Temperatura	integrato	
Box temperatura (524 045)	Temperatura	Sensore di temperatura NTC (666 212) oppure NiCr-Ni (666 193)	
	Differenza di temperatura	2 NiCr-Ni (666 193)	
Box prova reazione (524 046)	Tempo di reazione	Spingere sul pulsante (662 148) o sul pedale (662 149)	Premere allo start – la reazione dipende dal colore dell'indice
Adattatore test di reazione S (524 0461)	Tempo di reazione	Spingere sul pulsante (662 148) o sul pedale (662 149)	Premere allo start – la reazione dipende dal colore dell'indice
Box Pulsazioni (524 047)	Pulsazione	integrato	Attende almeno 10 s per la stabilizzazione del box
	Tensione	integrato	Curva di circolazione
Sensore Pulsazione S (524 0471)	Pulsazione	integrato	Attende almeno 10 s per la stabilizzazione del sensore
	Tensione	integrato	Curva di circolazione
Box resistenza della pelle (524 048)	Resistenza della pelle	integrato	Adatta i singoli range di misura (spostare gli assi con il mouse oppure cliccare sul campo di misura con il pulsante destro del mouse)
Sensore resistenza della pelle S (524 0481)	Resistenza della pelle	integrato	Adatta i singoli range di misura (spostare gli assi con il mouse oppure cliccare sul campo di misura con il pulsante destro del mouse)
Box ECG/EMG (524 049)	3 Conduttori ECG	integrato	
	EMG	integrato	
Box pressione del sangue (524 050)	Pressione del sangue	integrato	Speciale valutazione per sistole e diastole
	Pulsazione	integrato	solo le variazioni di pressione del sangue

Sensore pressione del sangue S (524 0501)	Pressione del sangue	integrato	Speciale valutazione per sistole e diastole
	Pulsazione	integrato	solo le variazioni di pressione del sangue
Box di luce (524 051)	Luminosità	Sensore di luce (666 243) Sensore IR (666 247) Sensore UV-A (666 244) Sensore UV-B (666 245) Sensore UV-C (666 246)	Corretto del fattore F stampato sul sensore
Adattatore per luce S (524 0511)	Luminosità	Sensore di luce (666 243) Sensore IR (666 247) Sensore UV-A (666 244) Sensore UV-B (666 245) Sensore UV-C (666 246)	Corretto del fattore F stampato sul sensore
Box ossigeno (524 052)	Saturazione di O_2	Elettrodo per ossigeno (667 458)	Corretto al 100% solo O_2
	Concentrazione di O_2	come sopra	Corretto dello stesso valore come per la saturazione
	Temperatura	come sopra	
Adattatore per ossigeno S (524 0521)	Saturazione di O_2	Elettrodo per ossigeno (667 458)	Corretto al 100% solo O_2
	Concentrazione di O_2	come sopra	Corretto dello stesso valore come per la saturazione
	Temperatura	come sopra	
Box Elettrometrico (524 054)	Tensione		Resistenza d'ingresso molto alta, ad es. per elettrostatica
Box Amplificatore (524 055)	Tensione		Sostituito da µV Box
Box Spirometro (524 056)	Portata in volume	integrato	
Box clima (524 057)	Umidità rel.	Sensore di umidità (529 057)	Calibrazione con i valori C1 a C4 stampati sul sensore
	Temperatura	Sensore di umidità (529 057)	Calibrazione con i valori C1 a C4 stampati sul sensore
	Temperatura	Sensore di temperatura NTC (666 212)	
	Pressione barometrica	integrato	
	Illuminazione	Sensore di luce (666 243)	Corretto con fattore F stampato sul sensore
Sensore di umidità S (524 0572)	Umidità rel.	integrato	
	Temperatura	integrato	
Box MCA(524 058)	Distribuzione altezza impulsi	Contatore a scintillazione (559 901) con Detector stadio di uscita (559 912) o Rilevatore a semiconduttore (559 92) con Discriminatore pre-Amplificatore (559 93*)	Spettroscopia α, β, γ
Microfono S (524 059)	Tensione	integrato	Collegabile un microfono esterno
	Frequenza	integrato	Collegabile un microfono esterno
	Tempo di propagazione	integrato	Collegabile un microfono esterno
	Livello	integrato	
Sensore di forza S, ±1 N (524 060)	Forza	integrato	Per forze fino a 1 N
Sensore UI S (524 062)	Tensione	integrato	per Pocket-CASSY e Mobile-CASSY
	Corrente	1 Ω shunt	per Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Sensor UIP S (524 0621)	Tensione	integrato	per Pocket-CASSY e Mobile-CASSY
	Corrente	integrato	per Pocket-CASSY e Mobile-CASSY
Sensore di pressione S, 2000 hPa (524 064)	Pressione relativa	integrato	
Sensore di pressione assoluta S (524 065)	Pressione assoluta	integrato	
Sensore di pressione S, 70 hPa (524 066)	Pressione relativa	integrato	
Box di chimica (524 067)	Valore di pH	Sensore di pH (667 4172)	
	Conducibilità	Sensore di conducibilità (529 670)	
	Temperatura	Sensore di conducibilità (529 670)	
	Temperatura	Sensore di temperatura (529 676)	
	Differenza di temperatura	2 sensori di temperatura (529 676)	
	Potenziale		
Adattatore per conducibilità S (524 0671)	Conducibilità	Sensore di conducibilità (529 670)	
	Temperatura	Sensore di conducibilità (529 670)	
Adattatore per pHS (524 0672)	Valore di pH	Sensore di pH (667 4172)	
	Potenziale		
Adattatore NiCrNi S (524 0673)	Temperatura	Sensore di temperatura (529 676)	
	Differenza di temperatura	2 sensori di temperatura (529 676)	
Apparecchio S per la forza centrifuga S (524 068)	Forza centrifuga	integrato	
Fotometro a immersione S (524 069)	Trasmissione	integrato	
	Estinzione	integrato	
	Concentrazione	integrato	
Sensore di moto a ultrasuoni S (524 070)	Percorso	integrato	
	Temperatura	integrato	
Sensore di moto laser S (524 073)	Percorso	integrato	
	Tempo di propagazione	integrato	
Timer S (524 074)	Livello		
	Eventi		
	Frequenza		Inserire tempo di conteggio
	Tasso		come sopra per visualizzare anche la distribuzione della frequenza
	Periodo		
	Tempo di transito		degli eventi da E a F
	Oscuramenti	Barriera luminosa a forchetta(337 46*)	Numero oscuramenti
	Tempo di oscuramento	come sopra	Durata oscuramento
	Spostamento (Δs=1 cm)	Ruota a raggi (per es. 337 461) o scala -g (529 034) e barriera luminosa a forchetta (337 46*)	

	Rotazione (Δs=1 cm)	come sopra	Inserire raggio
	Collisione lineare (v)	2 barriere luminose (337 46*)	Inserire larghezza bandierina
	Collisione angolare (ω)	come sopra	Inserire larghezza bandierina e raggio
	Spostamento (Δs=±1 mm)	barriera luminosa combinata (337 462*) con ruota a raggi combinata (337 464)	Connessa alla boccola sinistra
	Rotazione (Δs=±1 mm)	come sopra	Inserire anche il raggio
box auto i (524 076)	Velocità di rotazione	Rilevatore del punto morto superiore (738 989)	
	Angolo di accensione	Sonda induttiva (738 986)	
	Livello		
	Frequenza		
	Rapporto On/off		
	Tempo di Shut-off		
	Tempo di funzionamento		
	Tempo di iniezione		
Box auto Z (524 077)	Tensione del primario	Sonda capacitiva (738 987)	
	Tensione del secondario		
	Intervallo contatto chiuso		
	Velocità di rotazione		
Box CAN bus (524 078)	Messaggio CAN bus	integrato	
	Dati CAN bus	integrato	
Box LIN bus (524 081)	Tensione LIN bus	integrato	
	Messaggio LIN bus	integrato	
	Dati LIN bus	integrato	
Sensore di moto rotatorio S (524 082)	Angolo	integrato	
	Percorso	integrato	
	Ampiezza	integrato	
	Periodo	integrato	
	Frequenza	integrato	

I sensori indicati con * vanno collegati al box sensore con un cavo a 6 poli (501 16).

Correzione ingresso sensore

I valori ricavati da una misura si possono correggere in diversi modi, tutti facilmente accessibili in ambiente Windows.

Si può inserire un valore di offset e/oppure un fattore di correzione a sinistra del segno uguale; il software utilizza questi valori e quelli che si trovano a sinistra del segno uguale (valori misurati), per calcolare i valori a destra del segno uguale (valori corretti). Per eseguire la correzione, cliccare sull'apposito pulsante, **Offset Corretto** oppure **Fattore Corretto**.

Come alternativa, si possono definire i due valori corretti oppure un valore corretto ed un valore di previsione. La funzione **Correzione Off** cancella la correzione.

Salva

Una correzione viene salvata assieme agli altri settaggi del programma. Per essere sicuri che la correzione corrisponda alla situazione reale, ogni volta che si carica il programma bisogna fare attenzione ad usare sempre gli stessi elettrodi, gli stessi box sensori e lo stesso Sensor-CASSY (si consiglia di mettere un segno sugli elettrodi, sui box sensori e su tutti i dispositivi CASSY utilizzati).

Esempi

Per la correzione, si utilizzano due soluzioni tampone con pH 3 e pH 9. I due valori corretti sono 3 e 9 (inserire questi valori sulla destra). Dopo aver immerso l'elettrodo pH nella soluzione pH 3, attivare il pulsante prossimo al valore corretto (per es. **Offset Corretto**); per la soluzione pH 9 utilizzare l'altro pulsante (per es. **Fattore Corretto**).

Si vuole adattare al software un elettrodo per conducibilità con fattore K uguale a 1,07. Per questa operazione, è sufficiente inserire nella seconda riga il fattore 1,07 e selezionare **Fattore Corretto**.

Informazioni sulla speciale configurazione per il box clima (524 057)

Usando il box clima, è necessario calibrare il sensore di umidità (529 057) prima della prima misura. I quattro valori da C1 a C4 stampati sul sensore sono forniti a questo scopo. E' necessario inserire questi valori solo una volta; questi vendono memorizzati e mantenuti dal Sensor-CASSY. Non è necessario reinserire questi valori, come pure rimangono disponibili per successive misure con CASSY-Display.

Settaggi Relè/generatore di tensione

Sensor-CASSY ha in dotazione un relè R ed un generatore di tensione S regolabili con una manopola. Entrambi si possono selezionare via software Si possono attivare rapidamente, cliccando su di essi attraverso configurazione CASSY.

Il metodo più semplice è di sincronizzare il relè con l'avvio di una misura (per es. un magnete a ritenuta al generatore S). Attivare semplicemente **Commutare durante la registrazione automatica**.

È anche possibile definire la commutazione con una formula. La formula può dipendere da una o da tutte le grandezze presenti nell'elenco visualizzato; tali grandezze vanno inserite nella formula rispettando l'aspetto formale (vedere gli esempi). In una formula nella quale ad un risultato diverso da 0 corrisponde ON = "interruttore chiuso", quando il risultato è uguale a zero si ha OFF = "interruttore aperto". Durante la misura, se è attiva la funzione **Commutare durante la registrazione automatica**, la formula non viene presa in considerazione.

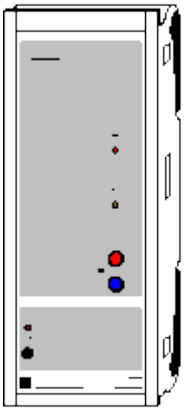
Uscita analogica PWM

In questo caso, il generatore di tensione S fornisce in uscita un segnale impulsivo modulato in larghezza; la sua ampiezza si varia tramite una manopola. La formula utilizzata per il controllo non ha come risultato soltanto OFF (= 0) o ON (= 1), ma può assumere anche valori intermedi (per es. 0,41 = alternativamente ON 41% ed OFF 59% intesi come percentuale di un periodo di 10 ms). La funzione **Commutare durante la registrazione automatica** non ha effetto sui valori intermedi.

Questa uscita analogica permette di eseguire il controllo di dispositivi sensibili al valore medio o al valore RMS di una tensione (per es. con la formula **saw(time/10)** si ottiene un segnale che accende una piccola lampada a incandescenza per 5 s e la spegne per altri 5 s).

Power-CASSY e Profi-CASSY dispongono di più uscite analogiche universali.

Power-CASSY



Introduzione

Power-CASSY (rispettivamente USB o seriale) è un'interfaccia che si può utilizzare come generatore di tensione o come generatore di corrente programmabili (generatore di potenza) con voltmetro ed amperometro incorporati.

- Possibilità di collegare un altro modulo CASSY o il CASSY display rispettivamente alla porta USB o all'interfaccia seriale RS-232 del computer.
- Isolamento elettrico.
- Possibilità di collegare in cascata fino ad un massimo di 8 moduli CASSY (per l'espansione degli ingressi e delle uscite).
- Controllo a microprocessore con sistema operativo CASSY (aggiornamento e miglioramento delle funzioni facilmente ottenibili via software)
- Utilizzabile su tavolo, su consolle oppure per fare una dimostrazione (anche con telai CPS/TPS per pannelli).
- Tensione di alimentazione 12 V (solo AC) tramite spinotto.

Possibilità di scaricare tutte le informazioni utili a sviluppare meglio il proprio software.

Norme di sicurezza

- Il trasporto di più moduli CASSY collegati in cascata è possibile solo se inseriti nei telai per pannelli oppure singolarmente (la stabilità meccanica dei collegamenti che si può ottenere senza telaio è sufficiente soltanto per gli esperimenti, ma non per il trasporto).
- Alimentare i moduli CASSY utilizzando esclusivamente l'alimentatore a spina (12 V/1,6 A) in dotazione.

Dati tecnici

1 Generatore di tensione programmabile con contemporanea misura della corrente
(per es. per la registrazione delle caratteristiche)

Risoluzione:	12 bit
Range di controllo:	±10 V
Range di misura:	±0,1/0,3/1 A
Errore di tensione:	±1 % plus 0,5 % del valore di fondo scala
Errore di corrente:	errore di tensione più ±1 %
Velocità di scansione:	200.000 valori/s (= 100.000 valori/s sia per la tensione che per la corrente)
No. valori medi:	virtualmente illimitati (dipende dal PC) fino a 100 valori/s, con un tasso di misura più alto max. 32.000 valori (= 16.000 valori/s sia per la tensione che per la corrente)

1 Generatore di corrente programmabile con contemporanea misura della tensione
(in alternativa al generatore di tensione)

Range di controllo:	±1 A
Range di misura:	±1/3/10 V

Per ulteriori dati, vedere generatore di tensione

1 Rispettivamente porta USB (versione USB), interfaccia seriale RS-232 (subD-9) per il collegamento al computer
1 Bus CASSY per collegare altri moduli CASSY o il CASSY display

Dimensioni (WxHxD):	115 mm x 295 mm x 45 mm
Peso:	1,0 kg

La fornitura comprende

1 Power-CASSY
1 Software CASSY Lab per Windows 98/2000/XP/Vista, privo del codice di attivazione, con funzioni guida molto esaurienti (20 sessioni di facile consultazione ed usabili in versione demo)
1 Guida per l'installazione
1 Cavo USB o cavo seriale (subD-9)
1 Alimentatore a spina 12 V / 1,6 A

Note sui limiti di potenza

In base al tipo di alimentatore a spina utilizzato, Power-CASSY non riesce sempre ad erogare una corrente DC di 1 A con 10 V. In alcuni casi limite, Power-CASSY è in grado di fornire una sufficiente potenza solo se si utilizza una seconda unità a spina (non inclusa).

La frequenza del segnale di campionamento ha un valore di 100 kHz e ciò limita la frequenza massima del segnale d'uscita ad un valore di 10 kHz. In queste condizioni l'andamento del segnale viene analizzato in 10 µs, perciò si ottengono almeno 10 punti al periodo distanti 10 µs uno dall'altro. Se in queste condizioni non si riesce ad ottenere esattamente il valore di frequenza o il duty factor prestabilito, il sistema cerca di ottenere entrambi i valori in modo più preciso possibile calcolando la media su un periodo maggiore

Se si utilizza Power-CASSY come generatore di corrente, la frequenza massima si riduce ulteriormente a causa della capacità d'uscita che può raggiungere perfino 10 µF. Con un carico resistivo R = 100 Ω, si ha una costante di tempo di R*C = 1 ms ed una frequenza di taglio di circa 1000 Hz. Se il carico è induttivo, la frequenza di taglio si riduce ulteriormente (si può rimediare collegando una resistenza in serie all'induttanza). Con carichi capacitivi, la capacità complessiva supera i 10 µF.

Settaggi generatore di funzioni

Power-CASSY è un generatore di funzione con controllo computerizzato in grado di erogare potenza. In questo generatore si può controllare la tensione U (generatore di tensione) o la corrente I (generatore di corrente). Lo strumento permette di misurare la corrente I quando è usato come generatore di tensione e la tensione U quando è usato come generatore di corrente. Il controllo ed i range di misura sono definibili dall'utente.

L'uscita del generatore di funzione può essere **attivo solo durante una misura (single shot)**. In questo caso, lo strumento resta inattivo tra una misura e l'altra perciò non è possibile determinare né il valore medio né il valore RMS.

Si possono selezionare le seguenti forme d'onda e, per ognuna di esse, assegnare la frequenza f (in Hz o kHz), l'ampiezza A (in Vp o Ap), la tensione DC di offset (in V= o A=) e il duty factor (in %) i cui valori sono compresi all'interno dei seguenti range:

Forma d'onda	Frequenza f	Ampiezza A	Offset O	Duty factor
DC	-	-	-10 V .. 10 V / -1 A .. 1 A	-
Sinusoide	0,01 Hz - 10 kHz	-10 V .. 10 V / -1 A .. 1 A	-10 V .. 10 V / -1 A .. 1 A	0 % .. 100 %
Quadra	0,01 Hz - 10 kHz	-10 V .. 10 V / -1 A .. 1 A	-10 V .. 10 V / -1 A .. 1 A	0 % .. 100 %
Triangolare	0,01 Hz - 10 kHz	-10 V .. 10 V / -1 A .. 1 A	-10 V .. 10 V / -1 A .. 1 A	0 % .. 100 %
Formula	0,01 Hz - 10 kHz	-10 V .. 10 V / -1 A .. 1 A	-10 V .. 10 V / -1 A .. 1 A	-

Sono disponibili due diversi tipi di onde quadre e triangolari: onde di tipo simmetrico variabili tra –A e +A, onde di tipo asimmetrico variabili tra 0 e +A.

Le ampiezze negative variano simmetricamente rispetto a quelle positive. Il duty factor determina il rapporto tra il tratto di curva in cui il segnale aumenta e quello in cui il segnale diminuisce. Ad esempio, variando questo fattore, si può trasformare un segnale triangolare (50 %) in un segnale a dente di sega (100%).

Oltre alle tipiche forme d'onda, Power-CASSY permette anche di programmare l'andamento del segnale d'uscita in base alle esigenze dell'utente. In questo caso, è necessario inserire una formula f(x) che descrive analiticamente l'andamento del segnale. Per determinare la forma d'onda, il sistema elabora la funzione della variabile x nell'intervallo [0, 1] in modo da fornire in uscita un segnale avente frequenza f, ampiezza A ed offset O conformi alle specifiche formulate. L'inserimento della formula presuppone il rispetto delle regole standard. Inoltre, tramite la funzione **synth(a:b:c:…)** è possibile definire la sintesi armonica espressa analiticamente dalla formula **a*sin(360*x) + b*sin(2*360*x) + c*sin(3*360*x) + …**. A questa espressione corrisponde un segnale d'uscita avente frequenza f, ampiezza A ed offset O i cui valori rispettano le specifiche formulate (vedere anche l'esempio sulla sintesi dei suoni).

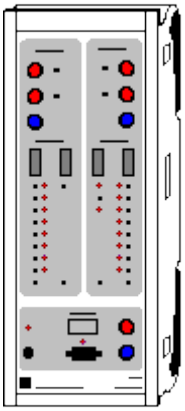
Per l'inserimento della formula, si ha a disposizione un box d'ingresso relativamente piccolo. Tuttavia, nel caso di formule più lunghe, si può utilizzare un editor di testo standard ed eseguire l'inserimento nel box d'ingresso con taglia ed incolla (pulsante destro del mouse).

È possibile visualizzare i valori istantanei della tensione U e della corrente I. determinare la media dei valori misurati o calcolare il valore RMS. Di solito, è sufficiente visualizzare i **valori istantanei** senza calcolare la media. La visualizzazione del **valore medio** o del **valore RMS** (il canale corrispondente φ per l'angolo di fase fra la tensione e la corrente viene generato automaticamente) si ottiene quando Power-CASSY funziona in modo continuo (e non durante una sola misura). In questi ultimi due casi, se l'intervallo di tempo è minore di 10 ms, i risultati delle misure registrati nella tabella e nel diagramma possono essere diversi da quelli visualizzati sugli strumenti. Si deduce, quindi, che è possibile visualizzare contemporaneamente la forma d'onda del segnale ed il valore efficace.

Avviso

Al posto di valori numerici costanti, è possibile specificare l'intervallo di variazione della frequenza, dell'ampiezza, dell'offset e del duty factor. Per esempio, in questo modo si può controllare con sufficiente flessibilità la frequenza di un segnale sinusoidale oppure la tensione d'uscita (per es. specificando una formula quando si deve eseguire la registrazione di una curva di risonanza o analizzare il funzionamento di un sistema di controllo). Con Power-CASSY, l'assegnazione in uscita di una nuova frequenza (ampiezza, offset o duty factor) è possibile ogni 100 ms; quindi, il valore di questi parametri può aumentare in modo discontinuo e non con continuità.

Profi-CASSY



Introduzione

Profi-CASSY è un'interfaccia intelligente per tutti I campi dell'elettrotecnica

- Per il collegamento alla porta USB di un computer.
- Elettricamente isolato dal computer.
- Collegabile in cascata con Sensor-CASSY o Power-CASSY (per aumentare gli ingressi e le uscite).
- Controllo a microprocessore con sistema operativo CASSY (aggiornamento e miglioramento delle funzioni facilmente ottenibili via software).
- Utilizzabile su tavolo, su consolle oppure come unità da dimostrazione (anche con telai CPS/TPS per pannelli).
- Tensione di alimentazione 12 V (solo AC) tramite spinotto o un altro modulo CASSY.

Possibilità di scaricare tutte le informazioni utili a sviluppare meglio il proprio software.

Norme di sicurezza

- Trasportare i moduli CASSY singolarmente oppure montati su telaio (la stabilità meccanica dei collegamenti che si può ottenere senza telaio è sufficiente soltanto per gli esperimenti, ma non per il trasporto).
- Alimentare i moduli CASSY utilizzando esclusivamente l'alimentatore a spina (12 V/1,6 A) in dotazione.
- Un Profi-CASSY può alimentare un altro modulo con assorbimento di corrente non superiore a 1,6 A (sufficiente per 2 moduli; in caso di sovraccarico, l'alimentazione viene tolta automaticamente). Se si usano CASSY addizionali, bisogna alimentarli separatamente.

Dati Tecnici

2 Ingressi analogici di tensione in A e B con boccole di 4 mm a norma di sicurezza

Risoluzione:	12 bit
Campo di misura:	±10 V
Errore della misura:	±1 % più 0,5 % del valore di fondo scala
Resistenza di ingresso:	1 MΩ
Velocità di scansione:	20.000 valori/s (= 10.000 valori/s per ingresso)
No. valori medi:	virtualmente illimitati (dipende dal PC) fino a 100 valori/s, con un tasso di misura più alto max. 16,000 valori (= 8,000 valori per ingresso)

2 Uscite analogiche di tensione X e Y su boccole di sicurezza da 4-mm

Risoluzione:	12 bit
Range di controllo:	±10 V
Errore:	±1 % più 0,5 % del valore di fondo scala
Corrente di uscita:	max. 100 mA per uscita
Velocità di scansione:	10.000 valori/s per uscita X, max. 100 valori/s per uscita Y (dipende dal PC)
No. valori medi:	virtualmente illimitati (dipende dal PC) fino a 100 valori/s, con un tasso di misura più alto max. 8.000 valori (solo uscita X)

16 Ingressi digitali I0 a I15

Logica:	5 V o 24 V
Velocità di scansione:	max. 100 valori/s (dipende dal PC)

Gli ingressi digitali sono ciascuno dotato di due connettori a spina di 10-poli per il collegamento diretto a dispositivi di automazione. In aggiunta, otto di questi sono forniti di boccole da 2-mm e LEDs di stato.

16 Uscite digitali Q0 a Q15

Logica:	5 V o 24 V
Corrente di uscita:	10 mA per alimentazione interna con 5 V 500 mA per alimentazione esterna fino a 30 V
Corrente totale:	2 A
Velocità di scansione:	max. 100 valori/s (dipende dal PC)

Le uscite digitale sono ciascuna dotata di due connettori a spina di 10-poli per il collegamento diretto a dispositivi di automazione. In aggiunta, otto di questi sono forniti di boccole da 2-mm e LEDs di stato.

1 PROFIBUS collegamento con boccole a 9-poli subD
stazione passiva (slave) nel PROFIBUS-DP bus di campo con 16 ingressi e uscite digitali e un tasso di bit fino a un massimo di 3 Mbit/s
Gli indirizzi si possono settare mediante CASSY Lab

1 porta USB (versione USB) per il collegamento al computer

1 Bus CASSY per collegare moduli Sensor-CASSY o Power-CASSY

Dimensioni (WxHxD):	115 mm x 295 mm x 45 mm
Peso:	1,0 kg

La fornitura comprende

1 Profi-CASSY
1 Software CASSY Lab per Windows 98/2000/XP/Vista, privo del codice di attivazione, con funzioni guida molto esaurienti (20 sessioni di facile consultazione ed usabili in versione demo)
1 Guida all'installazione
1 Cavo USB
1 Alimentatore a spina 12 V/ 1,6 A
1 GSD file LD066F.GSD per una facile parametrizzazione del PROFIBUS sul CD CASSY Lab

Applicazioni

- CBS9 simulatore d'impianto per PLC, COM3LAB, tecnica digitale e MFA
- CASSY® Lab per la registrazione e l'elaborazione dei dati misurati
- WinFACT® per applicazioni nella tecnica di controllo

Settaggio ingresso analogico

Profi-CASSY è fornito di due ingressi analogici A e B. Si può misurare la tensione U_A o U_B in istanti successivi, determinare il valore medio dei dati acquisiti o il valore RMS. Normalmente, è sufficiente misurare i **valori istantanei** senza determinare il valore medio. La misura del **valore medio** è necessaria quando al segnale d'ingresso si sovrappone un disturbo o un rumore di fondo. Nel caso di una tensione AC, di solito si misura il **valore RMS** (dalla misura del valore RMS di due canali, si ottiene automaticamente il cos φ). Se l'intervallo di tempo è minore di 10 ms, i valori inseriti nella tabella e nel diagramma possono essere diversi da quelli misurati con uno strumento. Per questo motivo, è opportuno visualizzare contemporaneamente la forma d'onda ed il valore RMS del segnale.

Come standard in un intervallo di tempo di 100 ms vengono calcolati I valori medi ed I valori efficaci. Questo intervallo di tempo può essere globalmente cambiato per tutti i canali. Se si usa il Power-CASSY o Profi-CASSY, questo intervallo di tempo viene cambiato in frequenza del segnale di uscita, in modo da valutare sempre un numero intero di periodi.

Se i valori ottenuti dalla misura sono poco precisi, si può migliorare la precisione con una correzione.

Settaggio uscita analogica X (generatore di funzioni)

Il Profi-CASSY è anche un generatore di funzioni controllato da computer sull'uscita X. L'uscita del generatore di funzione può essere **attivo solo durante una misura (single shot)**. In questo caso, lo strumento resta inattivo tra una misura e l'altra perciò non è possibile determinare né il valore medio né il valore RMS.

Si possono selezionare le seguenti forme d'onda e, per ognuna di esse, assegnare la frequenza f (in Hz o kHz), l'ampiezza A (in Vp o Ap), la tensione DC di offset (in V= o A=) e il duty factor (in %) i cui valori sono compresi all'interno dei seguenti range:

Forma d'onda	**Frequenza f**	**Ampiezza A**	**Offset O**	**Duty factor**
DC	-	-	-10 V .. 10 V	-
Sinusoide	0,01 Hz - 1000 Hz	-10 V .. 10 V	-10 V .. 10 V	0 % .. 100 %
Quadra	0,01 Hz - 1000 Hz	-10 V .. 10 V	-10 V .. 10 V	0 % .. 100 %
Triangolare	0,01 Hz - 1000 Hz	-10 V .. 10 V	-10 V .. 10 V	0 % .. 100 %
Formula	0,01 Hz - 1000 Hz	-10 V .. 10 V	-10 V .. 10 V	-

Sono disponibili due diversi tipi di onde quadre e triangolari: onde di tipo simmetrico variabili tra –A e +A, onde di tipo asimmetrico variabili tra 0 e +A.

Le ampiezze negative variano simmetricamente rispetto a quelle positive. Il duty factor determina il rapporto tra il tratto di curva in cui il segnale aumenta e quello in cui il segnale diminuisce. Ad esempio, variando questo fattore, si può trasformare un segnale triangolare (50 %) in un segnale a dente di sega (100%).

Oltre alle tipiche forme d'onda, Profi-CASSY permette anche di programmare l'andamento del segnale d'uscita in base alle esigenze dell'utente. In questo caso, è necessario inserire una formula f(x) che descrive analiticamente l'andamento del segnale. Per determinare la forma d'onda, il sistema elabora la funzione della variabile x nell'intervallo [0, 1] in modo da fornire in uscita un segnale avente frequenza f, ampiezza A ed offset O conformi alle specifiche formulate. L'inserimento della formula presuppone il rispetto delle regole standard. Inoltre, tramite la funzione **synth(a:b:c:…)** è possibile definire la sintesi armonica espressa analiticamente dalla formula **a*sin(360*x) + b*sin(2*360*x) + c*sin(3*360*x) + …**. A questa espressione corrisponde un segnale d'uscita avente frequenza f, ampiezza A ed offset O i cui valori rispettano le specifiche formulate (vedere anche l'esempio sulla sintesi dei suoni).

Per l'inserimento della formula, si ha a disposizione un box d'ingresso relativamente piccolo. Tuttavia, nel caso di formule più lunghe, si può utilizzare un editor di testo standard ed eseguire l'inserimento nel box d'ingresso con taglia ed incolla (pulsante destro del mouse).

È possibile visualizzare i valori istantanei della tensione U_X, determinare la media dei valori misurati o calcolare il valore RMS. Di solito, è sufficiente visualizzare i **valori istantanei** senza calcolare la media. La visualizzazione del **valore medio** o del **valore RMS** (il canale corrispondente φ per l'angolo di fase tra l'uscita X e l'ingresso A viene generato automaticamente) si ottiene quando Profi-CASSY funziona in modo continuo (e non durante una sola misura). In questi ultimi due casi, se l'intervallo di tempo è minore di 10 ms, i risultati delle misure registrati nella tabella e nel diagramma possono essere diversi da quelli visualizzati sugli strumenti. Si deduce, quindi, che è possibile visualizzare contemporaneamente la forma d'onda del segnale ed il valore efficace.

Avviso

Al posto di valori numerici costanti, è possibile specificare l'intervallo di variazione della frequenza, dell'ampiezza, dell'offset e del duty factor. Per esempio, in questo modo si può controllare con sufficiente flessibilità la frequenza di un segnale sinusoidale oppure la tensione d'uscita (per es. specificando una formula quando si deve eseguire la registrazione di una curva di risonanza o analizzare il funzionamento di un sistema di controllo). Con Profi-CASSY, l'assegnazione in uscita di una nuova frequenza (ampiezza, offset o duty factor) è possibile ogni 100 ms; quindi, il valore di questi parametri può aumentare in modo discontinuo e non con continuità.

Settaggio uscita analogica Y

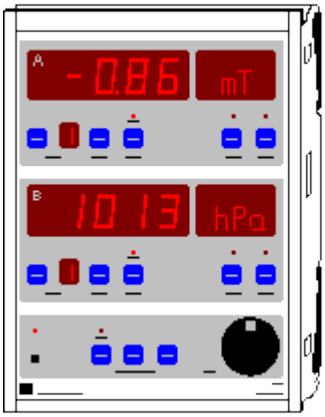
Separatamente dall'uscita analogica X, che può essere usata come un generatore di funzione, il Profi-CASSY fornisce un'altra uscita analogica Y, il cui livello di uscita può essere controllato mediante programma se gli viene assegnata una formula.

Settaggio ingresso/uscita digitale

Il Profi-CASSY ha 16 ingressi digitali 16 uscite digitali, che possono essere attivati in gruppi di 8 ingressi o uscite.

Gli ingressi I_0 a I_{15} restituiscono I livelli d'ingresso in corrente. Alle uscite digitali Q_0 a Q_{15} si possono assegnare le formule, per cui i livelli di uscita sono controllati da programma.

CASSY-Display



Introduzione

CASSY-Display (rispettivamente USB o seriale) è uno strumento a due canali che serve a visualizzare i risultati di una misura senza l'ausilio del computer.

- Controllo a microprocessore con sistema operativo CASSY (aggiornamento e miglioramento delle funzioni facilmente ottenibili via software).
- Utilizzabile su tavolo, su consolle oppure per fare una dimostrazione (anche con telai CPS/TPS per pannelli).
- Supporta fino ad 8 Sensor-CASSY (16 canali di misura).
- Le grandezze si misurano direttamente con Sensor-CASSY o collegando un box sensore (per le misure e relative specifiche, vedere Sensor-CASSY).
- È possibile selezionare e calibrare singolarmente i valori delle grandezze misurate. Aggiungendo o spostando un box sensore, cambia automaticamente la grandezza misurata e l'unità di misura.
- Ha un clock in tempo reale ed un data logger.
  È possibile memorizzare fino a 32.000 valori, i quali sono tenuti in memoria anche a dispositivo spento. Tali valori si possono leggere trasferendoli ad un computer attraverso, rispettivamente, la porta USB o l'interfaccia seriale.
- Tensione di alimentazione 12 V AC/DC mediante spinotto.

Norme di sicurezza

- Il trasporto di più moduli CASSY collegati in cascata è possibile solo se inseriti nei telai per pannelli oppure singolarmente (la stabilità meccanica dei collegamenti che si può ottenere senza telaio è sufficiente soltanto per gli esperimenti, ma non per il trasporto).
- Alimentare i moduli CASSY utilizzando esclusivamente l'alimentatore a spina (12 V/1,6 A) in dotazione.

Data logger

CASSY-Display ha una memoria nella quale salva i risultati della misura. I dati memorizzati si possono leggere successivamente mediante CASSY Lab. Quando CASSY-Display è collegato ad un computer, CASSY Lab mostra i settaggi della configurazione corrente dei moduli CASSY. Per leggere i dati, cliccare su **Lettura Dati**.

Durante questo processo, il clock in tempo reale di CASSY-Display si sincronizza con il clock del computer; però, è opportuno accertarsi che l'orologio del computer segni l'ora esatta.

Per maggiori informazioni sull'uso di questo dispositivo, si consiglia di consultare la Scheda Istruzioni CASSY.

Pocket-CASSY

Introduzione

Pocket-CASSY è un'interfaccia per la registrazione dei dati di misura:

- Per il collegamento alla porta USB di un computer o a un hub attivo.
- Compatibile con USB 1.x e 2.0 (Full speed)
- Fino a 8 ingressi analogici disponibili per Pocket-CASSY usando i box per sensori
- Si possono usare su differenti porte USB fino a 8 Pocket-CASSY (per aumentare ulteriormente gli ingressi)
- Rilevamento automatico dei box per sensori da CASSY Lab (plug and play)
- Alimentazione attraverso la porta (500 mA).

Possibilità di scaricare tutte le informazioni utili a sviluppare meglio il proprio software.

Note di sicurezza

- Per la Vostra protezione, non collegare sensori e box per sensori a tensioni superiori a 30 V.
- Fare attenzione a possibili collegamenti a terra fra I sensori ed il computer.

Dati tecnici

1 Ingresso analogico sul connettore per sensore
(Si possono collegare tutti i box per sensori ed i sensori CASSY)

Risoluzione:	12 bit
Campi di misura:	±0,003/0,01/0,03/0,1/0,3/1 V
Errore di misura:	±1 % più 0,5 % del valore limite
Resistenza di ingresso:	10 kΩ
Tempo di scansione:	max. 7.800 valori/s
No. valori medi:	virtualmente illimitato (dipende dal PC) fino a 100 valori/s, a un tasso di misura più alto max. 16.000 valori

I dati tecnici variano in funzione del box per sensore collegato. In questo caso CASSY Lab rileva automaticamente, quando è inserito un box per sensore, le grandezze e i campi di misura possibili.

2 Ingressi timer sul connettore per sensore
(p.es. per box BMW, box GM o box timer)

Frequenza di conteggio:	max. 10 kHz
Risoluzione di tempo:	1 µs
Tempo di misura fra due eventi:	min. 100 µs
Memoria:	max. 5.000 valori di tempo (= 2.500 valori per ingresso)

6 Ingressi digitali (TTL) sul connettore per sensore
(attualmente usati solo per il rilevamento automatico del box per sensore)

3 Uscite digitali (TTL) sul connettore per sensore
(attualmente usate solo per la commutazione automatica del campo di misura di un box per sensore)

1 Porta USB per il collegamento a un computer e per l'alimentazione

Dimensioni (WxHxD):	50 mm x 25 mm x 60 mm
Peso:	0,1 kg

Contenuto della fornitura

1 Pocket-CASSY
1 Software CASSY Lab, senza codice di attivazione, per Windows 98/2000/XP/Vista con dettagliate funzioni di aiuto (20 sessioni libere con tutte le funzioni, utilizzabile come versione demo)
1 Istruzioni per l'installazione
1 Cavo USB

Uso di Pocket-CASSY

Pocket-CASSY è un'interfaccia progettata come dispositivo a basso costo per la sperimentazione allievi. Pertanto si è rinunciato ad alcune caratteristiche del Sensor-CASSY. Comunque, molti degli esperimenti descritti si possono realizzare usando Pocket-CASSY. Questi esperimenti sono indicati con il logo Pocket-CASSY. La descrizione susseguente e l'elenco delle apparecchiature si riferiscono tuttavia all'uso del Sensor-CASSY.

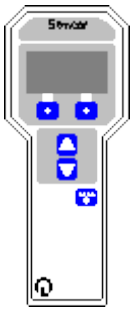
Esecuzione di un esperimento studiato per Sensor-CASSY usando Pocket-CASSY

- Per misure di tensione e corrente, se si usa il Pocket-CASSY, è richiesto il sensore UI S (524 062) o il sensore UIP S (524 0621).
- Se vengono usati entrambi gli ingressi analogici A e B del Sensor-CASSY, devono essere usati invece due Pocket-CASSY (probabilmente con due sensori UI S). In caso di misura combinata di tensione e corrente, è sufficiente una sola Pocket-CASSY con un sensore UIP S.
- I simboli delle grandezze di misura hanno un segno meno di quelli dati nelle descrizioni degli esperimenti così, nel caso della Pocket-CASSY, non viene fatta una distinzione fra ingresso A e ingresso B. Per esempio, si ha U_1 e U_2 (due Pocket-CASSY) invece di U_{A1} e U_{B1} (un Sensor-CASSY).

Limiti di Pocket-CASSY nel confronto con Sensor-CASSY

- C'è solo un ingresso per sensore. Se ci sono disponibili più porte USB, si possono ottenere più ingressi per sensori utilizzando diverse Pocket-CASSY. Poiché non c'è un segnale di trasmissione diretto fra diverse Pocket-CASSY, possono insorgere errori nel tempo del trigger fino a 5 ms.
- Non ci sono ingressi per tensione e corrente con boccole da 4 mm. Questi si possono ottenere con un sensore UI S o il sensore UIP S. Comunque, il sensore UI S ha solo 7 campi di misura invece di 10. Mancano i campi ±100 V, ±3 A, ±0,1 A. Inoltre, non è possibile usarlo per la registrazione simultanea di U e I. Al sensore UIP S manca solo il campo ±100 V.
- Non si possono selezionare le risoluzioni $\Delta t < 100$ µs. Pocket-CASSY scansiona internamente a $\Delta t >= 128$ µs così che è già stata fatta una interpolazione a $\Delta t = 100$ µs.
- Non ci sono il relè R e la sorgente di tensione S.
- Gli ingressi timer hanno solo la risoluzione di 1 µs – in aggiunta può derivare una latenza variabile fino a 10 µs. La massima frequenza misurabile è circa 10 kHz.
- Pocket-CASSY non è isolata. In funzione del sensore collegato, una connessione di terra continua può esistere fra il sensore e il computer. Se si usano due Pocket-CASSY simultaneamente sullo stesso computer, può lo stesso collegamento elettrico fra due sensori. Per compensare questo svantaggio, il sensore UI S (524 062) e il sensore UIP S (524 0621), che sono utilizzati frequentemente, sono stati progettati come amplificatori differenziali. Le loro boccole d'ingresso sono collegate a terra solo attraverso elevate resistenze.

Mobile-CASSY



Introduzione

Mobile-CASSY è uno strumento di misura palmare universale:

- Per quasi tutti I sensori CASSY e I box per sensori
- Rilevamento automatico del box per sensore (plug and play)
- Usando I box per sensori sono utilizzabili per Mobile-CASSY fino a 8 ingressi analogici
- Alimentazione con 4 batterie mignon (AA, batterie o accumulatori) o alimentatore s spina 12 V AC/DC
- Con integrato un data logger per memorizzare fino a 16,000 valori misurati
- Può essere collegata alla porta USB di un computer per leggere i dati memorizzati o per visualizzare su un grande schermo i valori misurati
- Compatibile con USB 1.x e 2.0
- Possono essere usati su differenti porte USB fino a 8 Mobile-CASSY
- Isolata dal computer

Possibilità di scaricare tutte le informazioni utili a sviluppare meglio il proprio software.

Note di sicurezza

- Per la Vostra protezione, non collegare sensori e box per sensori a tensioni superiori a 30 V.

Dati tecnici

1 Ingresso analogico sul connettore per sensore
(Possono essere collegati quasi tutti I box per sensori e sensori CASSY)

Risoluzione:	12 bit
Campi di misura:	±0,003/0,01/0,03/0,1/0,3/1 V
Errore di misura:	±1 % più 0,5 % del campo del valore limite
Resistenza di ingresso:	10 kΩ
Tempo di scansione:	max. 5 valori/s
No. valori medi:	16.000 nel data logger integrato o virtualmente illimitati (in funzione del PC) se la misura viene fatta con un PC

I dati tecnici cambiano in funzione del box per sensore collegato. Quando si inserisce un box per sensore, vengono rilevate automaticamente le grandezze di misura possibili ed I loro campi.

1 Display per la visualizzazione simultanea fino a quattro valori con caratteri di varie dimensioni
1 Porta USB per il collegamento a un computer

Dimensioni (WxHxD):	87 mm x 215 mm x 30 mm
Peso:	0,25 kg

Contenuto della fornitura

1 Mobile-CASSY
1 Software CASSY Lab, senza codice di attivazione, per Windows 98/2000/XP/Vista con dettagliate funzioni di aiuto (20 sessioni libere con tutte le funzioni, utilizzabile come versione demo)
1 Scheda di istruzioni
1 Cavo USB

Uso di Mobile-CASSY

Mobile-CASSY è una interfaccia portatile. Pertanto si è dovuto rinunciare a molte caratteristiche del Sensor-CASSY, e invece è stato integrato un data logger. Comunque, alcuni degli esperimenti descritti si possono realizzare anche con il Mobile-CASSY. Questi esperimenti sono indicati con il logo del Mobile-CASSY. La descrizione susseguente e l'elenco delle apparecchiature si riferiscono tuttavia all'uso del Sensor-CASSY.

Esecuzione di un esperimento studiato per Sensor-CASSY usando Mobile-CASSY

- Per misure di tensione e corrente, se si usa il Mobile-CASSY, è richiesto il sensore UI S (524 062) o il sensore UIP S (524 0621).
- Se vengono usati entrambi gli ingressi analogici A e B del Sensor-CASSY, devono essere usati invece due Mobile-CASSY (probabilmente con due sensori UI S). In caso di misura combinata di tensione e corrente, è sufficiente una sola Mobile-CASSY con un sensore UIP S.
- I simboli delle grandezze di misura hanno un segno meno di quelli dati nelle descrizioni degli esperimenti così, nel caso della Mobile-CASSY, non viene fatta una distinzione fra ingresso A e ingresso B. Per esempio, si ha U_1 e U_2 (due Mobile-CASSY) invece di U_{A1} e U_{B1} (un Sensor-CASSY).

Limiti di Mobile-CASSY nel confronto con Sensor-CASSY

- There is only one sensor input. If there are enough USB ports available, several sensor inputs can be realised by using several Mobile-CASSYs.
- Non ci sono ingressi per tensione e corrente con boccole da 4 mm. Questi si possono ottenere con un sensore UI S o il sensore UIP S. Comunque, il sensore UI S ha solo 7 campi di misura invece di 10. Mancano i campi ±100 V, ±3 A, ±0,1 A. Inoltre, non è possibile usarlo per la registrazione simultanea di U e I. Al sensore UIP S manca solo il campo ±100 V.
- Non si possono selezionare le risoluzioni $\Delta t < 200$ ms.
- Non ci sono il relè R e la sorgente di tensione S.
- Il supporto degli ingressi timer è molto limitato.

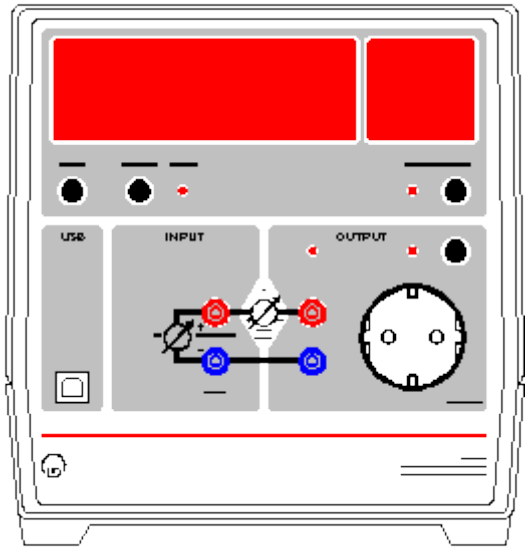
Data logger

Mobile-CASSY è fornita di una memoria per I dati, dove I dati delle misure possono essere immagazzinati. Questi dati vengono conservati quando l'apparecchio è spento e si possono leggere successivamente con CASSY Lab. Quando Mobile-CASSY è collegata a un computer, viene visualizzata nella finestra di configurazione dei moduli CASSY nella finestra dei settaggi CASSY. Per leggere i dati esterni, occorre semplicemente un click su **Leggi dati esterni**.

Durante questo processo il clock in tempo reale di CASSY si sincronizza con il clock di sistema del computer. Pertanto, è necessario accertarsi che il clock di sistema del computer sia corretto.

Per l'uso del dispositivo fare riferimento alle informazioni della scheda d'uso di Mobile-CASSY.

Joule- e watt-metro



Introduzione

Il Joule- e watt-metro è un multimetro universale con un wattmetro

- per misurare e visualizzare tensioni efficaci U e correnti efficaci I per tensioni e correnti di ogni tipo
- per visualizzare la potenza P non reattiva determinata da U e I e gli integrali nel tempo $\int P(t)\,dt$ (lavoro), $\int U(t)\,dt$ (sorgente) e $\int I(t)\,dt$ (carica)
- con ampio campo per la potenza da nW a kW (12 decadi)
- con grande display, che può essere letto da grandi distanze
- con collegamento del carico opzionalmente via boccole da 4 mm o boccola di terra (pannello frontale)
- con possibilità di collegamento alla porta USB di un computer per leggere i tipi di curve nel tempo U(t), I(t) e P(t) e i loro valori efficaci
- compatibile con USB 1.x e 2.0 (full speed)
- isolato dal computer

Informazioni per sviluppatori per lo sviluppo del loro software disponibile sul sito Internet

Note di sicurezza

Il dispositivo è conforme alle richieste di sicurezza per gli strumenti di misura elettrici, di controllo e di laboratorio secondo la norma DIN EN 61010 parte 1. E' previsto per l'uso in ambienti asciutti, adatti per strumenti e dispositivi elettrici.

Se il dispositivo è usato come prescritto, è garantita la sicurezza d'uso. Comunque, la sicurezza non è garantita se il dispositivo è usato impropriamente o maneggiato senza attenzione. Se si ritiene che non sia possibile un funzionamento in sicurezza (p. es in caso di danno visibile), spegnere immediatamente il dispositivo.

Messa in funzione del dispositivo la prima volta:

- Vedere se il valore della tensione di alimentazione indicato sulla targhetta corrisponde al valore locale.
- Cercare la scheda di istruzione del dispositivo sul CD "Istruzioni per l'uso" incluso con l'aiuto del numero di catalogo, e leggerla.

Prima di mettere in uso il dispositivo:

- Esaminare la custodia per eventuali danni. In caso di malfunzionamento o danni visibili, spegnere il dispositivo ed accertarsi che non venga usato inavvertitamente.

Durante ogni operazione:

- Collegare il dispositivo solo a boccole con presa di terra.
- Non applicare tensioni superiori a 250 V e correnti oltre 10 A.
- Esaminare I cavi di collegamento, cavi di test e sonde con isolamento difettoso e cavi scoperti.

- Quando si effettuano esperimenti con rischi di contatto con tensioni, utilizzare solo cavi di collegamento di sicurezza da 4 mm.
- La boccola sul pannello frontale può essere attiva anche se l'uscita non è attiva.
- Sostituire un fusibile difettoso solo con uno corrispondente al valore originale (T 10 A / 250 V).
- Non cortocircuitare il fusibile o il porta fusibile.
- Lasciare sempre libere le fessure di ventilazione della custodia per garantire una sufficiente circolazione d'aria per il raffreddamento del componenti interni.
- Tenere oggetti metallici, corpi estranei e l'acqua lontani dalle fessure di ventilazione.
- Non mettere in funzione il dispositivo se oggetti di questo tipo sono caduti all'interno.
- Permettere l'uso del dispositivo solo a persone qualificate.
- Il dispositivo non deve essere sottoposto a forti urti.

Dati tecnici

1 Tensione analogica ingresso da boccole da 4 mm

Risoluzione:	12 bit
Campi di misura:	±5**/±50**/±500 mV / ±5/±50/±250 V
Precisione*:	1 %
Resistenza d'ingresso:	≥1 MΩ
Campionamento:	max. 10.000 valori/s
No. valori misurati:	virtualmente illimitato (dipende dal PC) fino 100 valori/s, con il più alto tasso di misura max. 16,000 valori

1 Tensione analogica ingresso da boccola di terra (può essere usata in alternativa)

Risoluzione:	12 bit
Campo di misura:	250 V
Precisione*:	1 %
Resistenza d'ingresso:	2 MΩ
Campionamento:	max. 10.000 valori/s
No. valori misurati:	virtualmente illimitato (dipende dal PC) fino 100 valori/s, con il più alto tasso di misura max. 16,000 valori

1 Corrente analogica ingresso da boccole di sicurezza da 4 mm e boccola di terra

Risoluzione:	12 bit
Campi di misura:	±0,2/±2/±20 mA / ±0,2/±2/±10 A
Precisione*:	1 %
Resistenza d'ingresso:	10 Ω / ca. 0,01 Ω
Campionamento:	max. 10.000 valori/s
No. valori misurati:	virtualmente illimitato (dipende dal PC) fino 100 valori/s, con il più alto tasso di misura max. 16,000 valori

Connessione del carico:	O via boccole di sicurezza da 4 mm o boccola di terra (pannello frontale)
Display:	5 digit 7 segmenti display per valori numerici e matrice 7x15 per unità
Altezza dei digits:	25 mm
Porta USB:	USB 1.x e 2.0 (full speed), isolata
Alimentazione:	230 V, 50/60 Hz
Dimensioni (WxHxD):	20 cm x 21 cm x 23 cm
Peso:	2 kg

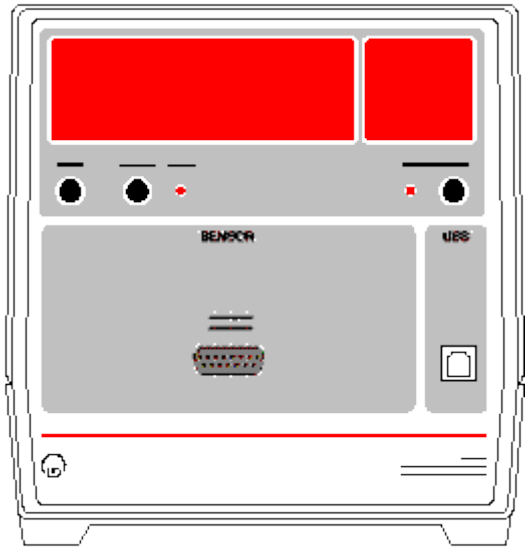
* La precisione specificata è valida nel limite più alto del campo per DC e per AC con una frequenza di 50 a 60 Hz e un fattore di cresta = valore massimo : valore efficace ≤ 2.

** Questo campo è adatto solo per DC (non per AC).

Contenuto della fornitura

1 Joule- e watt-metro
1 Software CASSY Lab senza codice di attivazione per 98/2000/XP/Vista con aiuto esplicativo (può essere usato per il Joule- e watt-metro senza limitazioni)
1 Istruzioni per l'uso
1 cavo USB

Strumento di misura universale per fisica



Introduzione

Lo strumento universale per fisica è un multimetro universale

- per la misura e la visualizzazione di molte grandezze fisiche
- con grande display, che può essere letto da grandi distanze
- con possibilità di collegamento alla porta USB di un computer per leggere i tipi di curve nel tempo
- compatibile con USB 1.x e 2.0 (full speed)
- isolato dal computer

Informazioni per sviluppatori per lo sviluppo del loro software disponibile sul sito Internet

Note di sicurezza

Il dispositivo è conforme alle richieste di sicurezza per gli strumenti di misura elettrici, di controllo e di laboratorio secondo la norma DIN EN 61010 parte 1. E' previsto per l'uso in ambienti asciutti, adatti per strumenti e dispositivi elettrici.

Se il dispositivo è usato come prescritto, è garantita la sicurezza d'uso. Comunque, la sicurezza non è garantita se il dispositivo è usato impropriamente o maneggiato senza attenzione. Se si ritiene che non sia possibile un funzionamento in sicurezza (p. es in caso di danno visibile), spegnere immediatamente il dispositivo.

Messa in funzione del dispositivo la prima volta:

- Vedere se il valore della tensione di alimentazione indicato sulla targhetta corrisponde al valore locale.
- Cercare la scheda di istruzione del dispositivo sul CD "Istruzioni per l'uso" incluso con l'aiuto del numero di catalogo, e leggerla.

Prima di mettere in uso il dispositivo:

- Esaminare la custodia per eventuali danni. In caso di malfunzionamento o danni visibili, spegnere il dispositivo ed accertarsi che non venga usato inavvertitamente.

Durante ogni operazione:

- Collegare il dispositivo solo a boccole con presa di terra.
- Lasciare sempre libere le fessure di ventilazione della custodia per garantire una sufficiente circolazione d'aria per il raffreddamento del componenti interni.
- Tenere oggetti metallici, corpi estranei e l'acqua lontani dalle fessure di ventilazione.
- Non mettere in funzione il dispositivo se oggetti di questo tipo sono caduti all'interno.
- Permettere l'uso del dispositivo solo a persone qualificate.
- Il dispositivo non deve essere sottoposto a forti urti.

Dati tecnici

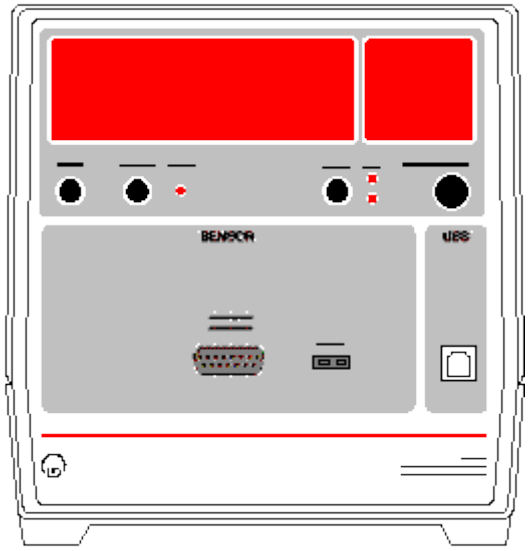
1 Ingresso analogico sul connettore per sensore per molti sensori S

Risoluzione:	12 bit
Campi di misura:	in dipendenza dal sensore
Precisione:	1 % più l'errore del sensore
Resistenza d'ingresso:	10 kΩ
Campionamento:	max. 10.000 valori/s
No. valori misurati:	virtualmente illimitato (dipende dal PC) fino 100 valori/s, con il più alto tasso di misura max. 16.000 valori
Display:	5 digit 7 segmenti display per valori numerici e matrice 7x15 per unità
Altezza dei digits:	25 mm
Porta USB:	USB 1.x e 2.0 (full speed), isolata
Alimentazione:	230 V, 50/60 Hz
Dimensioni (WxHxD):	20 cm x 21 cm x 23 cm
Peso:	2 kg

Contenuto della fornitura

1 Strumento di misura universale per fisica
1 Software CASSY Lab senza codice di attivazione per 98/2000/XP/Vista con aiuto esplicativo (può essere usato per lo strumento di misura universale per fisica senza limitazioni)
1 Istruzioni per l'uso
1 cavo USB

Strumento di misura universale per chimica



Introduzione

Lo strumento universale per chimica è un multimetro universale

- per la misura e la visualizzazione di molte grandezze chimiche
- con grande display, che può essere letto da grandi distanze
- con possibilità di collegamento alla porta USB di un computer per leggere i tipi di curve nel tempo
- compatibile con USB 1.x e 2.0 (full speed)
- isolato dal computer

Informazioni per sviluppatori per lo sviluppo del loro software disponibile sul sito Internet

Note di sicurezza

Il dispositivo è conforme alle richieste di sicurezza per gli strumenti di misura elettrici, di controllo e di laboratorio secondo la norma DIN EN 61010 parte 1. E' previsto per l'uso in ambienti asciutti, adatti per strumenti e dispositivi elettrici.

Se il dispositivo è usato come prescritto, è garantita la sicurezza d'uso. Comunque, la sicurezza non è garantita se il dispositivo è usato impropriamente o maneggiato senza attenzione. Se si ritiene che non sia possibile un funzionamento in sicurezza (p. es in caso di danno visibile), spegnere immediatamente il dispositivo.

Messa in funzione del dispositivo la prima volta:

- Vedere se il valore della tensione di alimentazione indicato sulla targhetta corrisponde al valore locale.
- Cercare la scheda di istruzione del dispositivo sul CD "Istruzioni per l'uso" incluso con l'aiuto del numero di catalogo, e leggerla.

Prima di mettere in uso il dispositivo:

- Esaminare la custodia per eventuali danni. In caso di malfunzionamento o danni visibili, spegnere il dispositivo ed accertarsi che non venga usato inavvertitamente.

Durante ogni operazione:

- Collegare il dispositivo solo a boccole con presa di terra.
- Lasciare sempre libere le fessure di ventilazione della custodia per garantire una sufficiente circolazione d'aria per il raffreddamento del componenti interni.
- Tenere oggetti metallici, corpi estranei e l'acqua lontani dalle fessure di ventilazione.
- Non mettere in funzione il dispositivo se oggetti di questo tipo sono caduti all'interno.
- Permettere l'uso del dispositivo solo a persone qualificate.
- Il dispositivo non deve essere sottoposto a forti urti.

Dati tecnici

1 Ingresso analogico sul connettore per sensore per molti sensori S

Risoluzione:	12 bit
Campi di misura:	in dipendenza dal sensore
Precisione:	1 % più l'errore del sensore
Resistenza d'ingresso:	10 kΩ
Campionamento:	max. 10.000 valori/s
No. valori misurati:	virtualmente illimitato (dipende dal PC) fino 100 valori/s, con il più alto tasso di misura max. 16.000 valori
Display:	5 digit 7 segmenti display per valori numerici e matrice 7x25 per unità
Altezza dei digits:	25 mm
Porta USB:	USB 1.x e 2.0 (full speed), isolata
Alimentazione:	230 V, 50/60 Hz
Dimensioni (WxHxD):	20 cm x 21 cm x 23 cm
Peso:	2 kg

Contenuto della fornitura

1 Strumento di misura universale per chimica
1 Software CASSY Lab senza codice di attivazione per 98/2000/XP/Vista con aiuto esplicativo (può essere usato per lo strumento di misura universale per chimica senza limitazioni)
1 Istruzioni per l'uso
1 cavo USB

Altri dispositivi seriali

Oltre alla CASSY, CASSY Lab supporta altri dispositivi seriali i quali, una volta collegati ad un'interfaccia libera, si possono utilizzare contemporaneamente alla CASSY. Sono previsti i seguenti dispositivi:

- ASCII (configurabile)
- Bilancia (tipi diversi)
- VideoCom (337 47)
- IRPD (332 11)
- Strumento multifunzione MFA 2001 (727 230)
- MetraHit (531 28 - 531 30)
- Termometro (666 209 / 666 454)
- Spettrofotometro digitale (667 3491)
- Data logger (666 252)
- pH metro (666 221)
- Misuratore di conducibilità (666 222)
- Lux-metro (666 223 / 666 230)
- Misuratore di O2 (666 224)
- Fotometro (666 225)
- Misuratore di livello sonoro (666 231)
- Misuratore di CO2-CO-CH4 (666 232)
- Misuratore di potenza ottica (736 435)
- Piattaforma rotante per antenna (737 405)

ASCII, bilancia, VideoCom, IRPD, MFA 2001

Oltre alla bilancia, alla VideoCom (337 47), al rivelatore di posizione IR (332 11) e lo strumento multifunzione MFA 2001 (727 230), CASSY Lab supporta tutti i dispositivi compatibili con l'interfaccia seriale purchè la trasmissione dei dati avvenga in codice ASCII (testo, numero e unità, modo 8N1 = 8 bits di dati, nessuna parità, 1 bit di stop o modo 7E1 = 7 bits di dati, stessa parità, 1 bit di stop). Il software confronta l'unità che è stata definita con quella che sta trasmettendo. Se tali unità concordano, ha inizio la trasmissione ed i valori numerici vengono visualizzati come risultati della misura. Se non viene specificata nessuna unità, si ha solo la visualizzazione dei valori numerici trasmessi.

La VideoCom ed IRPD hanno una velocità di trasmissione prestabilita. Le bilance e gli altri dispositivi possono lavorare con diverse velocità di trasmissione, perciò è necessario assegnare tale parametro.

Cause di disturbo

Se non si ottiene la visualizzazione dei valori di una misura, questo può dipendere da una delle seguenti cause:

- L'interfaccia seriale non è stata definita correttamente
- I parametri dell'interfaccia sono errati: controllare che il dispositivo stia usando la stessa velocità e lo stesso modo di trasmissione (8N1 = 8 bits di dati, nessuna parità, 1 bit di stop o modo 7E1 = 7 bits di dati, stessa parità, 1 bit di stop). La VideoCom e l'IRPD soddisfano sempre a queste condizioni.
- Cavo di collegamento sbagliato: secondo il tipo di dispositivo, può essere necessario un cavo a fili non incrociati (1:1) oppure a fili incrociati (null modem). La VideoCom, IRPD e MFA 2001 richiedono un cavo 1:1, per le bilance di solito si utilizza un cavo null modem.
- Unità errata: si può cancellare l'unità per fare una prova. In questo caso, il software visualizza tutti valori numerici. VideoCom, IRPD e MFA 2001 restituiscono sempre l'unità corretta.
- Il dispositivo non trasmette: fare la prova usando un programma di comunicazione come Hyper Terminal (disponibile come accessorio di Windows; successivamente, può essere necessario installare questo programma nel Pannello di Controllo).

Restrizioni della VideoCom

La VideoCom utilizza il campo di visualizzazione specificato anche per calibrare il percorso, per cui questo dovrebbe corrispondere alla larghezza del suo campo visivo.

Questo sistema visualizza soltanto il punto in cui avviene la prima riflessione, perciò il software della VideoCom si può usare senza problemi per posizioni multiple.

Le misure non sono eseguite in modo sincrono. Anche se la VideoCom trasmette 80 posizioni al secondo, il software non riesce a sincronizzare la registrazione dei dati con questa velocità; pertanto, bisogna eseguire le misure ad intervalli di tempo di almeno 100 ms. Tuttavia, queste condizioni sono ugualmente sufficienti per eseguire in modo corretto tutte le applicazioni previste per la VideoCom e la CASSY (controllo di posizione).

MetraHit

CASSY Lab supporta dispositivi MetraHit da 14S a 18S (531 28 – 531 30) purchè dotati dell'apposito adattatore (531 31).

Le grandezze da misurare vanno selezionate in modo tale che ci sia corrispondenza con i settaggi eseguiti sul MetraHit–meter. In qualsiasi momento, si può modificare il range di misura prestabilito; questo non ha niente a che fare con l'attuale range dell'unità MetraHit utilizzata. Se si cambia il range di misura del MetraHit, il software mantiene la visualizzazione del range fino a quando non viene esplicitato il cambiamento.

I vari dispositivi MetraHit forniscono i risultati delle misure in forma numerica con diverse cifre decimali. Il software può **eliminare una cifra decimale** per non modificare il tipo di visualizzazione.

Cause di disturbo

Se non si ottiene la visualizzazione dei valori di una misura, questo può dipendere da una delle seguenti cause:

- L'interfaccia seriale non è stata definita correttamente.
- Cavo di collegamento sbagliato: utilizzare il cavo a fili non incrociati (1:1) alimentato con l'interfaccia (531 31).
- Risultato della misura errato: specificare in modo corretto la grandezza da misurare sia al dispositivo sia al software.
- Il LED sull'adattatore d'interfaccia non lampeggia: attivare la trasmissione dati sul dispositivo MetraHit (premere simultaneamente **DATA** ed **ON**).

Termometro

CASSY Lab supporta il termometro (666 209 oppure 666 454). Le quattro temperature sono trasmesse ognuna ad un proprio strumento ed i rispettivi valori sono visualizzati sulla finestra principale.

Ogni volta, è possibile cambiare il range di misura prestabilito; questo non ha niente a che fare con il range di misura del termometro.

Il termometro è dotato di una memoria nella quale vengono salvati i risultati della misura. Per leggere il contenuto della memoria è sufficiente attivare la funzione **Lettura Memoria**.

Cause di disturbo

Se non si ottiene la visualizzazione dei valori di una misura, questo può dipendere da una delle seguenti cause:

- L'interfaccia seriale non è stata definita correttamente.
- Cavo di collegamento sbagliato: utilizzare il cavo a fili non incrociati (1:1).
- Dispositivo selezionato inesatto: confrontare il numero di catalogo del dispositivo mostrato nella finestra di dialogo. Anche i termometri di versioni precedenti possono funzionare in **ASCII (configurabile)**.
- Non è stato collegato il sensore di temperatura.

Spettrofotometro digitale

CASSY Lab supporta lo spettrofotometro digitale (667 3491). La lunghezza d'onda corrente λ e la trasmissione misurata T sono tramesse ad uno strumento sul display e posto vicino ai pulsanti della velocità nella finestra principale.

Se in aggiunta vengono visualizzati i valori dell'assorbimento (100-T) o dell'estinzione (-log(T/100)), questi valori possono essere calcolati con la Formula o caricando il settaggio del corrispondente Esempio di esperimento.

Cause di disturbo

Se non si ottiene la visualizzazione dei valori misurati, questo può dipendere da una delle seguenti cause:

- L'interfaccia seriale non è stata definita correttamente
- Cavo di collegamento sbagliato: usare solo il cavo fornito con il dispositivo.
- Dispositivo selezionato inesatto: confrontare il numero di catalogo del dispositivo con quello mostrato nella finestra di dialogo.

Strumenti di misura manuali e data logger

CASSY Lab supporta tutta la serie di strumenti manuali della LD Didactic ed i rispettivi data logger:

- Data logger (666 252)
- pH-metro (666 221)
- Misuratore di conducibilità (666 222)
- Lux-metro (666 223 / 666 230)
- Misuratore di O_2 (666 224)
- Fotometro (666 225)
- Misuratore di livello sonoro (666 231)
- Misuratore di CO_2-CO-CH_4 (666 232)
- Misuratore di potenza ottica (736 435)

Si può collegare solo uno strumento manuale alla volta. Se si vuole usare lo stesso tipo di strumento manuale per eseguire più misure contemporaneamente (per es. due pH-metri), bisogna collegarlo attraverso un data logger.

Ogni volta, è possibile cambiare il range di misura prestabilito; questo non ha niente a che fare con il range di misura dello strumento manuale. Se si cambia il range di misura dello strumento, il software mantiene la visualizzazione del range fino a quando non viene esplicitato il cambiamento.

Le diverse grandezze misurate sono trasmesse ad un proprio strumento ed i rispettivi valori sono visualizzati sulla finestra principale.

Il data logger ed il misuratore di livello sonoro sono dotati di una memoria nella quale vengono salvati i risultati della misura. Per leggere il contenuto della memoria è sufficiente cliccare su **Lettura Memoria** ed avviare la trasmissione sul dispositivo.

Cause di disturbo

Se non si ottiene la visualizzazione dei valori di una misura, questo può dipendere da una delle seguenti cause:

- L'interfaccia seriale non è stata definita correttamente.
- Cavo di collegamento sbagliato: utilizzare solo lo speciale cavo di collegamento al computer (666 251).
- Dispositivo selezionato inesatto: confrontare il numero di catalogo del dispositivo mostrato nella finestra di dialogo.
- Grandezza da misurare errata: specificare il dispositivo in grado di misurare la grandezza giusta.

Piattaforma rotante per antenna

Il programma supporta la piattaforma rotante (737 405). A prescindere dai molti esempi sperimentali predefiniti, l'uso può essere ottimizzato cambiando manualmente I seguenti parametri:

- **Campo da**
  Inizio angolo per la misura dato in gradi , p. es. –180
- **Campo a**
  Fine angolo dato in gradi, p. es. 180

- **Incremento angolare**
  Questo è il menu per la risoluzione angolare, si può selezionare uno dei seguenti intervalli di rotazione: 0,5° / 1° / 2°.
- **Corrente di Bias**
  Si può commutare con on / off. Il diodo Schottky del rilevatore usato nell'antenna a dipolo (737 411) richiede una piccola corrente DC di bias dell'ordine di 15 μA. Senza questa corrente di Bias, la sensibilità del rilevatore diminuisce considerevolmente.
- **Modulazione Gunn**
  Sovrappone un'onda quadra di circa 1 kHz, di tensione 1 V_{pp} all'alimentazione DC dell'oscillatore Gunn. Va usata solo se non è disponibile il modulatore PIN (737 05).
- **Caratteristica del rilevatore**
  Le antenne di test devono sempre essere collegate ad un rilevatore (p. es. Rilevatore coassiale 737 03), oppure devono avere all'interno un diodo rilevatore. Il segnale A originale dell'antenna prima del rilevatore non può essere misurato direttamente. Solo la caduta di tensione prodotta dalla corrente del rilevatore è misurabile con l'amplificatore di misura. In generale, A non è proporzionale a U. Ci sono le seguenti scelte:
  - Rilevatore quadratico: $A \propto U^{1/2}$ (buona approssimazione per piccole tensioni ricevute U < 5 mV)
  - Rilevatore lineare: $A \propto U$ (approssimazione per alte tensioni ricevute U > 5 mV)
  - Libero: $A \propto U^{1/m}$ (qui viene inserita la caratteristica del rilevatore, p.es. dopo una misurazione con un attenuatore calibrato 737 09).
- **Calcolo campo lontano**
  L'ingresso è D_T (massima dimensione laterale dell'antenna test in mm). Bisogna prendere in considerazione l'estensione dell'antenna trasmittente D_Q (p. es. Grande antenna a tromba 737 21: D_Q = 100 mm) e la lunghezza d'onda λ_0 = 32 mm, la distanza minima r_0 fra l'antenna trasmittente e la ricevente è calcolata nella condizione in cui soddisfa il campo lontano
  $$r_0 \geq \frac{2(D_Q + D_T)^2}{\lambda_0}$$
- **Normalizza il livello**
  Forma il rapporto $A = U/U_{max}$, che è 1 nel massimo. Il fattore logaritmico di smorzamento è a = 0 dB nel massimo.
- **Massimo di rotazione a 0°**
  Setta il Massimo della curva misurata a 0°. La curva può essere ruotata e shiftata manualmente con i tasti rapidi. Nota importante riguardante l'operazione con il cursore: gli strumenti di misura (p. es. livello A o angolo ϑ) visualizzano la corrente misurata e non la posizione del cursore nel diagramma o nella tabella.
- **Avvicinamento al punto di riferimento**
  Interrompe la misura della corrente e riporta la piattaforma rotante alla posizione di partenza +/- 180°. Questo è necessario, p. es., perchè dopo un movimento libero la piattaforma rotante può dare degli errori nella registrazione della posizione.
- **Arresto piattaforma rotante**
  Arresta la piattaforma rotante. Sono possibili misure statiche, p. es. Per determinare il guadagno di un'antenna. La piattaforma rotante può essere comandata passo-passo mediante tasti.

Cause di disturbo

Se non si ottiene la visualizzazione dei valori di una misura, questo può dipendere da una delle seguenti cause:

- L'interfaccia seriale non è stata definita correttamente.
- Cavo di collegamento sbagliato: usare solo il cavo fornito con il dispositivo (1:1).
- Dispositivo selezionato inesatto: confrontare il numero di catalogo del dispositivo mostrato nella finestra di dialogo.

Esempi di esperimenti

Gli esperimenti proposti come esempi trattano argomenti collegati a cinque importanti settori:

- STM (Moduli per l'insegnamento delle Scienze)
- Fisica
- Chimica
- Biologia
- Tecnica

C'è la possibilità di stampare un singolo esempio o la serie completa.

STM (Moduli per l'Insegnamento delle Scienze)

Gli esempi di esperimenti aiutano nell'uso di CASSY. I dati delle misure o i settaggi si possono caricare direttamente da CASSY Lab. Semplicemente con un click sui simboli nelle descrizioni. I nuovi esempi sono indicati con un punto rosso •.

Versione Docente

Le Versioni Docente permettono di caricare gli esempi con i dati delle misure e anche le risposte alle domande contenute nel testo. L'aiuto STM viene installato separatamente. Se non è installato, è possibile installarlo dal CD-ROM CASSY Lab. Successivamente sarà possibile scaricare le nuove versioni dell'aiuto STM da Internet.

I testi scritti in rosso non si trovano nelle versioni per studenti.

Meccanica

- P1.3.1.3 Moto uniformemente accelerato – diagramma spazio-tempo
- Moto uniforme fra due barriere luminose
- Moto uniformemente accelerato fra un elettromagnete ed una barriera luminosa
- Relazione fra accelerazione e massa (F=costante)
- Relazione fra accelerazione e forza (m=costante)

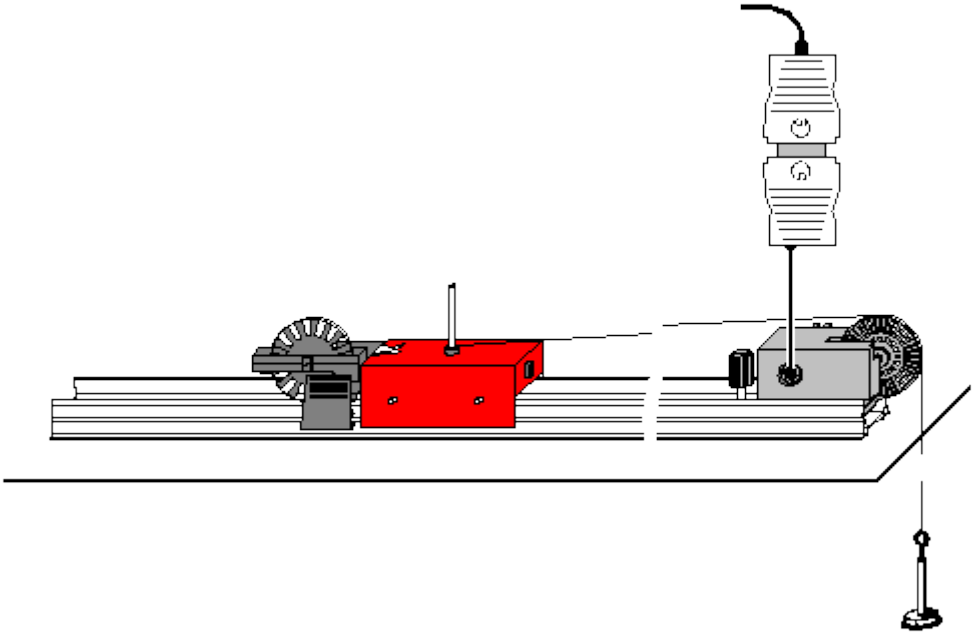
Elettricità

- Legge di Ohm
- P3.2.3.1a Collegamento delle resistenze in serie
- P3.2.3.1b Collegamento delle resistenze in parallelo
- P3.2.3.2 Regolazione della tensione con il potenziometro
- P3.2.3.3 Principio di funzionamento del ponte di Wheatstone

Fisica Atomica e Nucleare

- L'effetto della distanza fra la sorgente radiante e il contatore a finestra nel tasso di impulsi

Moto uniformemente accelerato – diagramma spazio-tempo



Compito

Studiare il moto di un carrello trascinato da un peso fissato all'estremo di una corda che scorre nella gola di una carrucola.

Elenco delle apparecchiature

1	Pocket-CASSY	524 006
1	CASSY Lab	524 200
1	Timer S	524 074
1	Barriera luminosa combinata	337 462
1	Ruota a raggi combinata	337 464
1	Adattatore per barriera luminosa combinata alla rotaia studenti	337 465
1	Cavo multipolo, 6-poli, 1,5 m	501 16
1	Rotaia metallica di precisione, 1 m	460 81
1	Carrello, 85 g	337 00
1	Serie di pesi motori	337 04
1	Corda	200 70 322
1	Puleggia singola su cavaliere in alternativa: 1 cavaliere	337 14 460 95
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

- Tagliare un pezzo di corda di ca. 80 cm, e fare dei cappi alle estremità. La lunghezza della corda dovrebbe essere scelta in modo che il peso sospeso sia nel punto più basso quando il carrello è a fine rotaia.
- Muovere il carrello sulla rotaia fino a quando il peso sospeso sia proprio prima della puleggia senza toccarla. A questo punto fissare la puleggia singola su cavaliere (o un cavaliere) sulla guida metallica di precisione come punto di partenza per il carrello.
- Per iniziare, sospendere solo il piattello (5,2 g) alla corda.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Portare il carrello sul punto di partenza, fermarlo, e definire il punto zero nella finestra Settare spazio s1 con **—> 0 <—**. Avviare la misura con **F9** o con un click sul pulsante e lasciare il carrello.

- Mettere dei pesi aggiuntivi sul piattello (ogni volta 5 g), e ripetere l'esperimento.

Valutazione

- Che cosa è stato misurato nell'esperimento (vedere tabella o diagramma)?

_____

- Che cosa è visualizzato nel diagramma?

_____

- Qual'è il comportamento di differenti spazi percorsi in intervalli di tempo uguali?

_____

_____

- Quale tipo di curva è descritta dai valori misurati? Suggerimento:

_____

- Conferma il suggerimento con la corrispondente curva di fit con Funzioni di adattamento.
- Quali le conclusioni in riferimento alla relazione fra lo spazio *s* e il tempo *t*?

_____

- Visualizza Cambia assegnazione assi nella tabella di **Analisi** con un click sul pulsante destro del mouse. Allora determinare il fattore di proporzionalità con la Retta passante per l'origine. The results for the three motions are:

_____

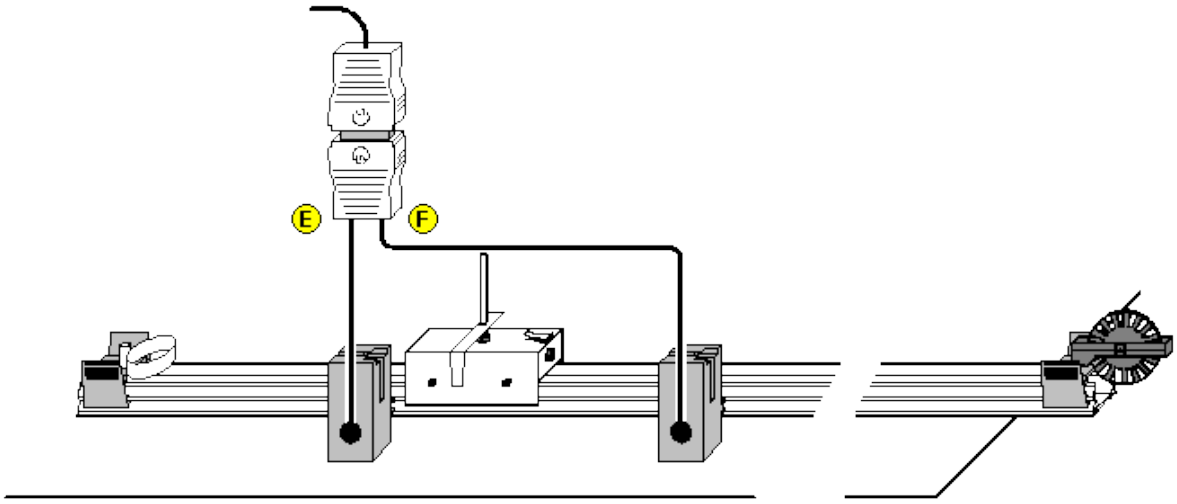
_____

_____

- Quali le conclusioni in riferimento alla descrizione matematica generale del moto (equazione del moto)?

_____

Moto uniforme fra due barriere luminose



Compito

Studiare le relazioni fra lo spazio s e il tempo t e fra la velocità v e il tempo t per il moto uniforme di un carrello fra due barriere luminose.

Elenco delle apparecchiature

1	Pocket-CASSY	524 006
1	CASSY Lab	524 200
1	Timer S	524 074
1	Rotaia metallica di precisione, 1 m	460 81
1	Carrello 1	337 00
1	Puleggia singola su cavaliere	337 14
1	Molla e piastra d'urto	337 03
1	Cavaliere	460 95
1	Spina di prolunga	309 00 441
1	Accessori per la misura elettronica del tempo	337 466
2	Barriere luminose combinate	337 462
2	Cavi multipolari, 6-poli, 1,5 m	501 16
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

- Montare la barriera luminosa 1 a una distanza di 40 cm dall'inizio della rotaia metallica, e collegarla all'ingresso E del timer S. Collegare la barriera luminosa 2 all'ingresso F.
- Mettere il carrello con la molla e l'asta d'interruzione sulla rotaia metallica.
- Montare il cavaliere e la spina di prolunga come dispositivo di lancio all'inizio della rotaia metallica e il cavaliere come fermo alla fine della rotaia metallica.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Montare la barriera luminosa 2 a una distanza di 10 cm dalla barriera luminosa 1. Usare il mouse per trascinare l'indice nel display della finestra Spazio s a 10 cm.
- Per avviare il moto premere il carrello con la molla contro la spina del supporto. La molla dovrebbe essere compressa di circa 2 cm.
- Rilasciare il carrello. Memorizzare i valori misurati nella tabella con il tasto **F9**.
- Ripetere la misura aumentando lo spazio di 5 cm per volta.

Quando il carrello torna alla posizione zero, viene interrotta la barriera luminosa 1 e quindi parte la misura del tempo. Per fermarla, anche la barriera luminosa 2 deve essere interrotta. Comunque, è più semplice sollevare il carrello dalla rotaia e portarlo indietro prima della barriera luminosa 1.

Valutazione

- Tracciare una linea retta che passa per l'origine e unisce i punti di misura nel diagramma s(t). Che relazione si può dedurre fra s e Δt_1?

  _____

- Leggere la pendenza A della linea retta.

  _____

- Determinare il valore medio v_m dei punti di misura nel diagramma v(t).

  _____

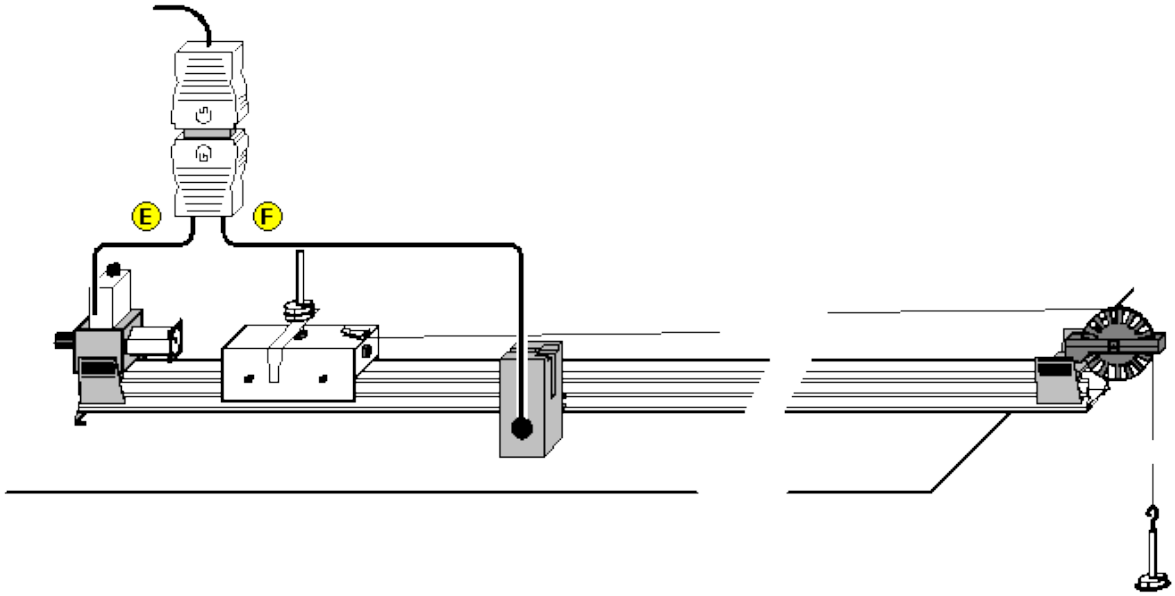
- Confrontare la pendenza A della retta nel diagramma s(t) con il valore medio v_m della velocità.

  _____

- Quale equazione del moto può essere dedotta per il moto uniforme?

  _____

Moto uniformemente accelerato fra un elettromagnete ed una barriera luminosa



Compito

Studiare le relazioni fra lo spazio s e il tempo t e fra la velocità media v_m e il tempo t per il moto uniformemente accelerato di un carrello fra un elettromagnete e una barriera luminosa.

Elenco delle apparecchiature

1	Pocket-CASSY	524 006
1	CASSY Lab	524 200
1	Timer S	524 074
1	Rotaia metallica di precisione, 1 m	460 81
1	Carrello 1	337 00
1	Serie di pesi motori	337 04
1	Filo di refe	309 48
1	Puleggia singola su cavaliere	337 14
1	Elettromagnete per rotaia	683 41
1	Adattatore per elettromagnete con meccanismo di sgancio	336 25
1	Accessori per la misura elettronica del tempo	337 466
1	Barriera luminosa combinata	337 462
1	Cavo multipolare, 6-poli, 1,5 m	501 16
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

- Mettere l'elettromagnete con l'adattatore per elettromagnete sulla rotaia metallica e collegarlo all'ingresso E del timer S.
- Posizionare la barriera luminosa a una distanza di 20 cm dall'inizio della rotaia metallica e collegarla all'ingresso F.
- Mettere il carrello con la spina di ritenuta sulla rotaia metallica.
- Fissare un pezzo di filo al carrello, e sospendere da questo il piattello portapesi ed un peso a intaglio.
- Regolare la vite dell'elettromagnete in modo che il carrello sia appena tenuto dall'avviarsi.
- Spostare il carrello assieme con l'elettromagnete in modo che la banderuola d'interruzione del carrello inizi ad interrompere la barriera luminosa (zero).

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Posizionare la barriera luminosa a una distanza s di 10 cm dallo zero appena definito.
- Usare il mouse per trascinare l'indice nel display della finestra Spazio s a 10 cm.
- Avviare la misura premendo il pulsante dell'adattatore dell'elettromagnete.
- Registrare lo spazio s e l'intervallo di tempo Δt_1 nella tabella con **F9**.
- Incrementare la distanza s della barriera luminosa in passi di 5 cm e ogni volta ripetere la misura.

Valutazione

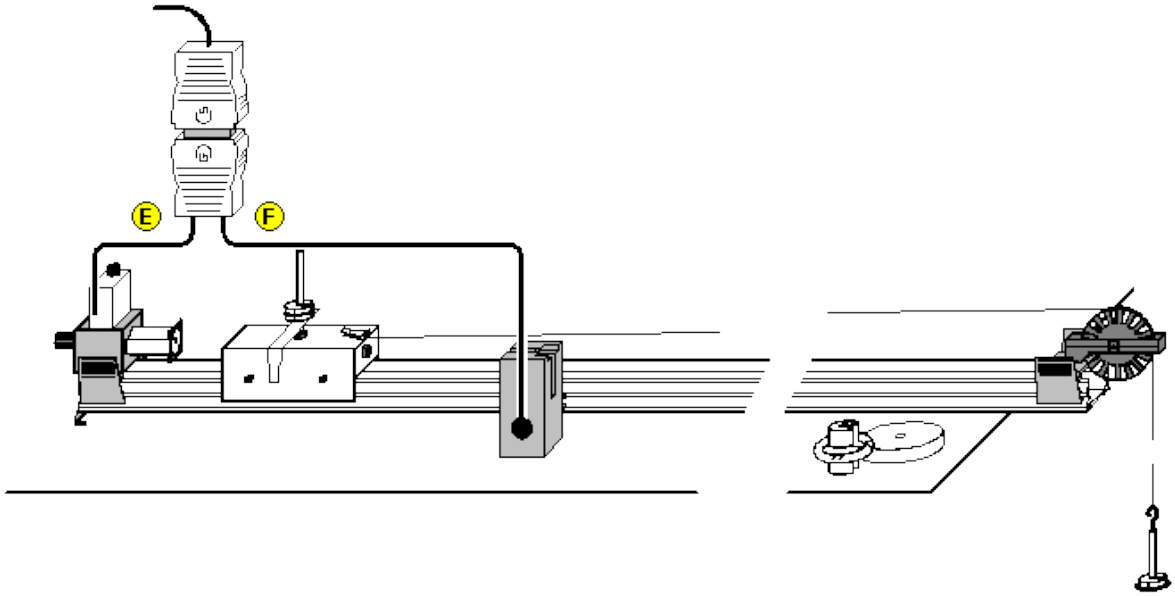
- Tracciare una parabola normale attraverso i punti di misura del diagramma s(t). Che relazione può essere dedotta fra s e Δt_1?

  _____

- Tracciare la linea retta passante per l'origine e i punti di misura nel diagramma $v_m(t)$. Che relazione può essere dedotta fra la velocità media v_m e l'intervallo di tempo Δt_1?

  _____

Relazione fra accelerazione e massa (F=costante)



Compito

Studiare la relazione fra l'accelerazione a e la massa m per il moto uniformemente accelerato di un carrello fra un elettromagnete e una barriera luminosa.

Elenco delle apparecchiature

1	Pocket-CASSY	524 006
1	CASSY Lab	524 200
1	Timer S	524 074
1	Rotaia metallica di precisione, 1 m	460 81
1	Carrello 1	337 00
1	Serie di pesi motori	337 04
1	Massa aggiuntiva 1	337 05
1	Peso, 50 g	da 340 85
1	Filo di refe	309 48
1	Puleggia singola su cavaliere	337 14
1	Elettromagnete per rotaia	683 41
1	Adattatore per elettromagnete con meccanismo di sgancio	336 25
1	Accessori per la misura elettronica del tempo	337 466
1	Barriera luminosa combinata	337 462
1	Cavo multipolare, 6-poli, 1,5 m	501 16
1	Bilancia elettronica	667 794
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

- Mettere l'elettromagnete con l'adattatore per elettromagnete sulla rotaia metallica e collegarlo all'ingresso E del timer S.
- Posizionare la barriera luminosa a una distanza di 20 cm dall'inizio della rotaia metallica e collegarla all'ingresso F.
- Mettere il carrello con la spina di ritenuta sulla rotaia metallica.
- Fissare un pezzo di filo al carrello, e sospendere da questo il piattello portapesi ed un peso a intaglio (F = 0,10 N).
- Mettere gli altri pesi a intaglio nello spinotto del carrello
- Regolare la vite dell'elettromagnete in modo che il carrello sia appena tenuto dall'avviarsi.

- Spostare il carrello assieme con l'elettromagnete in modo che la banderuola d'interruzione del carrello inizi ad interrompere la barriera luminosa (zero).

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Determinare la massa m del carrello (compreso il piattello e i pesi con intaglio).
- Posizionare la barriera luminosa a una distanza s = 30 cm dallo zero.
- Avviare la misura premendo il pulsante dell'adattatore per elettromagnete.
- Leggere l'intervallo di tempo Δt_1 nel display della finestra ed accettarlo con **F9** per calcolare l'accelerazione.
- Aumentare la massa del carrello in passi di 50 g e ripetere la misura.
- Prima di registrare una nuova serie di misure, usare il mouse per selezionare **Aggiungi nuova serie di misure** nella finestra parametri di misura (premere **F5** due volte).
- Successivamente aumentare la forza acceleratrice mettendo uno o due pesi a intaglio sul piattello e ripetere le misure.

Valutazione

- Come si può calcolare l'accelerazione a del carrello dallo spazio s e dall'intervallo di tempo Δt_1?

_____

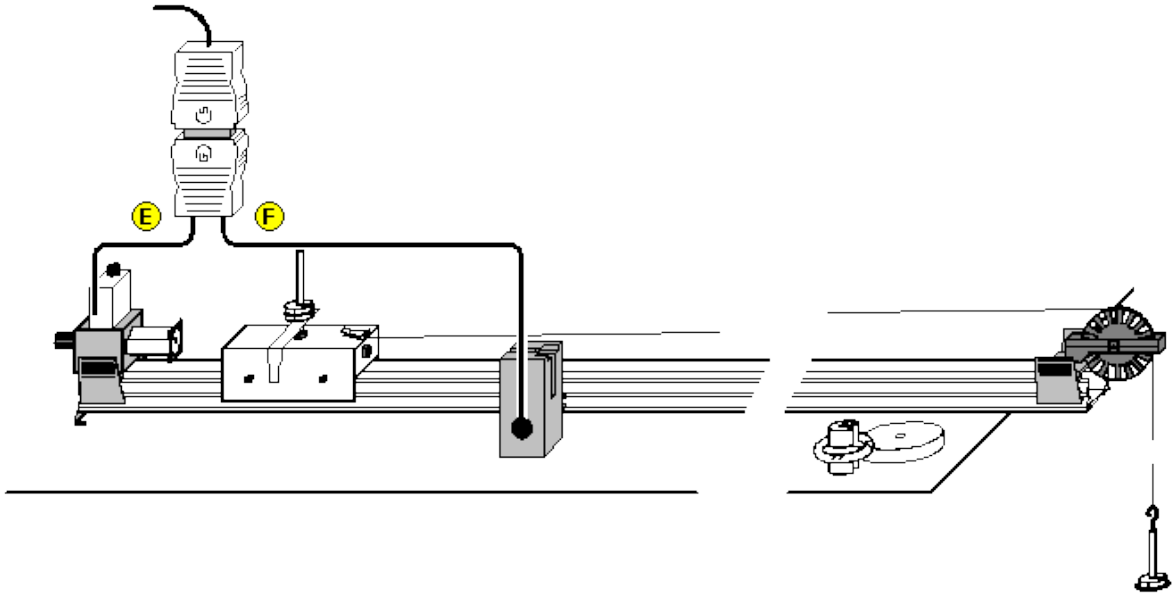
- Inserire le rispettive masse m (carrello, masse aggiuntive, piattello porta pesi e pesi a intaglio) nella tabella. Tracciare l'iperbole (1/x) dei punti di misura del diagramma a(m).
- Quale relazione può essere dedotta fra l'accelerazione a e la massa m?

_____

- Da quale grandezza fisica dipende l'accelerazione di un carrello se la massa è costante?

_____

Relazione fra accelerazione e forza (m=costante)



Carica esempio

Compito

Studiare la relazione fra l'accelerazione a e la forza F per il moto uniformemente accelerato di un carrello fra un elettromagnete e una barriera.

Elenco delle apparecchiature

1	Pocket-CASSY	524 006
1	CASSY Lab	524 200
1	Timer S	524 074
1	Rotaia metallica di precisione, 1 m	460 81
1	Carrello 1	337 00
1	Serie di pesi motori	337 04
1	Massa aggiuntiva 1	337 05
1	Peso, 50 g da	340 85
1	Filo di refe	309 48
1	Puleggia singola su cavaliere	337 14
1	Elettromagnete per rotaia	683 41
1	Adattatore per elettromagnete con meccanismo di sgancio	336 25
1	Accessori per la misura elettronica del tempo	337 466
1	Barriera luminosa combinata	337 462
1	Cavo multipolare, 6-poli, 1,5 m	501 16
1	Bilancia elettronica	667 794
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

- Mettere l'elettromagnete con l'adattatore per elettromagnete sulla rotaia metallica e collegarlo all'ingresso E del timer S.
- Posizionare la barriera luminosa a una distanza di 20 cm dall'inizio della rotaia metallica e collegarla all'ingresso F.
- Mettere il carrello con la spina di ritenuta sulla rotaia metallica.
- Fissare un pezzo di filo al carrello, e sospendere da questo il piattello porta pesi e tutti e tre i pesi a intaglio.
- Regolare la vite dell'elettromagnete in modo che il carrello sia appena tenuto dall'avviarsi.

- Spostare il carrello assieme con l'elettromagnete in modo che la banderuola d'interruzione del carrello inizi ad interrompere la barriera luminosa (zero).

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Determinare la massa m del carrello (compreso il piattello e i pesi con intaglio).
- Posizionare la barriera luminosa a una distanza s = 30 cm dallo zero.
- Prendere tutti e tre i pesi a intaglio dal piattello e metterli nella spina del carrello.
- Avviare la misura premendo il pulsante dell'adattatore per elettromagnete.
- Leggere l'intervallo di tempo Δt_1 nel display della finestra ed accettarlo con **F9** per calcolare l'accelerazione.
- Uno dopo l'altro prendere un peso a intaglio dalla spina del carrello, porlo sul piattello porta pesi, e ripetere la misura.
- Prima di registrare una nuova serie di misure, usare il mouse per selezionare **Aggiungi nuova serie di misure** nella finestra parametri di misura (premere **F5** due volte).
- Successivamente aumentare la massa del carrello di 0,05 kg e 0,10 kg, rispettivamente, e ripetere le misure.

Valutazione

- Come si può calcolare l'accelerazione dallo spazio s e dall'intervallo di tempo Δt_1?

_____

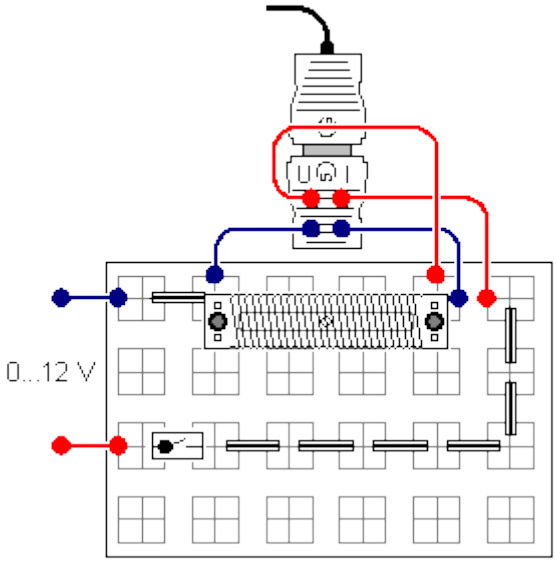
- Inserire la forza F che agisce sul carrello nella tabella. Tracciare una linea retta passante per l'origine e per i punti di misura nel diagramma a(F).
- Che relazione fra a e F può essere dedotta dalla rappresentazione grafica?

_____

- Da quale grandezza fisica dipende l'accelerazione del carrello se la forza che agisce sul carrello è costante?

_____

Legge di Ohm



Compito

Determinare la relazione fra la tensione *U* applicata al conduttore e la corrente *I* che lo attraversa.

Elenco delle apparecchiature

1	Pocket-CASSY	524 006
1	CASSY Lab	524 200
1	Sensore UIP S	524 0621
1	Piastra a spine A4	576 74
1	Serie di 10 spine a ponte	501 48
1	Supporto per avvolgimento fili	567 18
1	Interruttore, singolo polo STE 2/19	579 13
1	Filo di nichel-cromo, 0,25 mm, lungo ca. 200 cm	da 550 46
1	Resistenza 100 Ω STE2/19	577 32
3	Cavi di collegamento, rosso, 25 cm	500 411
3	Cavi di collegamento, blu, 25 cm	500 412
1	Sorgente di tensione, 0...12 V, regolabile	p.es. 521 230
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

- Avvolgere il filo di nichel-cromo sul supporto per avvolgimento per fili, e stabilire il contatto elettrico con le spine mediante le viti. All'inizio l'interruttore è aperto.
- Per la misura di tensione e corrente, collegare I cavi di collegamento al sensore UIP come mostrato in figura.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Chiudere il circuito con l'interruttore. Memorizzare il primo valore misurato a *U* = 0 V con **F9** o con un click sul pulsante .
- Regolare varie tensioni (3 V, 6 V, 9 V, e 12 V) sull'alimentatore, memorizzando ogni volta I valori misurati.

Nota: Far fluire la corrente solo per un breve tempo durante ciascuna misura per evitare di scaldare il filo perchè questo porterebbe ad un aumento della resistenza e distorcerebbe I risultati delle misure.

- Sostituire il supporto per avvolgimento fili nel circuito con la resistenza STE 100 Ω e due spine a ponte.

- Spuntare **Aggiunge Nuova Serie di misure** nella finestra dei Parametri di misura (p.es. premendo il tasto **F5**).
- Ripetere l'esperimento con la resistenza STE 100 Ω.

Valutazione

- Costruiamo la seguente relazione: La tensione *U* aumenta, la

  _____

- Come si comporta la corrente *I* che scorre attraverso un cambio di filo se la tensione *U* è raddoppiata?

  _____

- Eseguire un fit con la Migliore linea retta nel diagramma per entrambe le serie di misure. Come sono distribuiti i valori misurati?

  _____

- Quale conclusione in riferimento alla relazione fra la tensione *U* e la corrente *I* nei due esperimenti?

  _____

- La resistenza elettrica *R* è definite come il quoziente di *U* e *I*:

  $R = \frac{U}{I}$

  L'unità della resistenza elettrica è Ω (Ohm):

  $[R] = \Omega = \frac{V}{A}$

  Cosa si può dire sulle due resistenze utilizzate nell'esperimento?

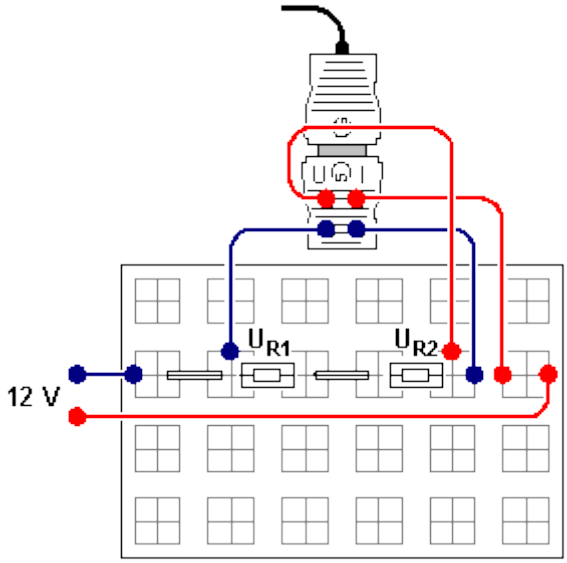
  _____

- Quali sono le grandezze della resistenza del filo di nichel-cromo e della resistenza STE usate nell'esperimento?

  _____

  _____

Collegamento delle resistenze in serie



Esperimento

Misura delle tensioni U_0, U_{R1}, U_{R2} e della corrente I_0 in due resistenze R_1 e R_2 collegate in serie, determinazione della relazione tra R_1 e R_2 e la resistenza totale R_0.

Elenco delle apparecchiature

1	Pocket-CASSY	524 006
1	CASSY Lab	524 200
1	Sensore UIP	524 0621
1	Pannello a spina A4	576 74
1	Serie di 10 ponticelli a spina	501 48
1	Resistenza 220 Ω STE 2/19	577 36
1	Resistenza 330 Ω STE 2/19	577 38
1	Resistenza 470 Ω STE 2/19	577 40
1	Resistenza 1 kΩ STE 2/19	577 44
3	Cavi di collegamento, 25 cm, rossi	500 411
3	Cavi di collegamento, 25 cm, blu	500 412
1	Alimentatore, 0...12 V, regolabile	per es. 521 230
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Montaggio dell'esperimento (vedere figura)

- Montare il circuito formato da due resistenze, per es. 220 Ω/330 Ω, come indicato in figura.
- Per misurare la tensione U_0 e la corrente I_0, collegare il sensore UIP come indicato in figura.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Mediante l'alimentatore, applicare una tensione di circa 12 V.
- Misurare la tensione U_0 e la corrente I_0. Trasferire i risultati della misura dal display degli strumenti *U* ed *I* nella tabella con il mouse (trascina e incolla).
- Eseguire i collegamenti per la misura della tensione U_{R1} (vedere figura) e determinare il valore di U_{R1}. Trasferire i risultati della misura dal display dello strumento *U* nella tabella con il mouse ed inserire manualmente il valore della resistenza R_1.
- Eseguire i collegamenti per misurare la tensione U_{R2} (vedere figura) e determinare il valore di U_{R2}. Trasferire i risultati della misura dal display dello strumento *U* nella tabella con il mouse ed inserire manualmente il valore della resistenza R_2.
- Ripetere l'esperimento con altri valori di resistenze.

Valutazione dei risultati

Per valutare i risultati dell'esperimento, viene fornita la tabella **Valutazione** dalla quale risulta evidente la relazione tra le tensioni U_0, U_{R1}, U_{R2} e le resistenze R_0, R_1, R_2.

- La corrente che circola nelle resistenze R_1 e R_2 collegate in serie è

  _____

- Qual è la relazione tra le tensioni U_{R1} e U_{R2} e la tensione totale U_0?

  _____

  _____

- Qual è la relazione tra il rapporto delle tensioni U_{R1} e U_{R2}ed il rapporto delle resistenze R_1 e R_2?

  _____

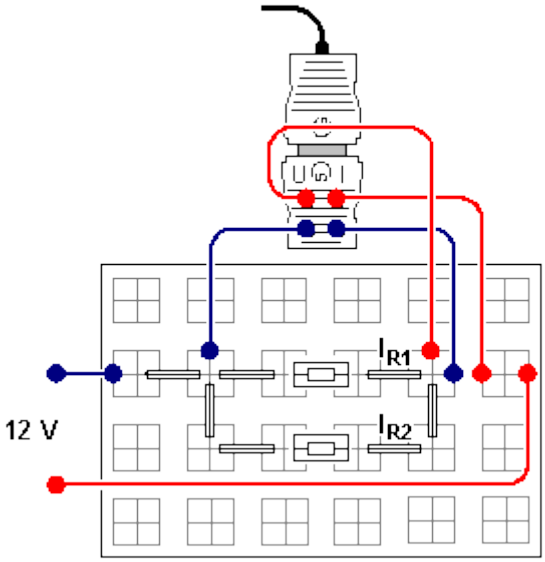
  _____

- Qual è la relazione tra la resistenza totale $R_0 = U_0/I_0$ e le resistenze R_1 e R_2?

  _____

  _____

Collegamento delle resistenze in parallelo



Esperimento

Misura della tensione U_0 e delle correnti I_0, I_{R1}, I_{R2} in due resistenze R_1 e R_2 collegate in parallelo, determinazione della relazione tra R_1 e R_2 e la resistenza totale R_0.

Elenco delle apparecchiature

1	Pocket-CASSY	524 006
1	CASSY Lab	524 200
1	Sensore UIP	524 0621
1	Pannello a spina A4	576 74
1	Serie di 10 ponticelli a spina	501 48
1	Resistenza 220 Ω STE 2/19	577 36
1	Resistenza 330 Ω STE 2/19	577 38
1	Resistenza 470 Ω STE 2/19	577 40
1	Resistenza 1 kΩ STE 2/19	577 44
3	Cavi di collegamento, 25 cm, rossi	500 411
3	Cavi di collegamento, 25 cm, blu	500 412
1	Alimentatore, 0...12 V, regolabile	per es. 521 230
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Montaggio dell'esperimento (vedere figura)

- Montare il circuito formato da due resistenze, per es. 220 Ω/330 Ω, come indicato in figura.
- Per misurare la tensione U_0 e la corrente I_0, collegare il sensore UIP come indicato in figura.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Mediante l'alimentatore, applicare una tensione di circa 12 V.
- Misurare la tensione U_0 e la corrente I_0. Trasferire i risultati della misura dal display degli strumenti *U* ed *I* nella tabella con il mouse (trascina e incolla).
- Eseguire i collegamenti per misurare la corrente I_{R1} (vedere figura, inserire correttamente i ponticelli) e misurare la corrente I_{R1}. Trasferire i risultati della misura dal display dello strumento *I* nella tabella con il mouse ed inserire manualmente il valore della resistenza R_1.
- Eseguire i collegamenti per misurare la corrente I_{R2} (vedere figura, inserire correttamente i ponticelli) e misurare la corrente I_{R2}. Trasferire i risultati della misura dal display dello strumento *I* nella tabella con il mouse ed inserire manualmente il valore della resistenza R_2.
- Ripetere l'esperimento con altri valori di resistenze.

Valutazione dei risultati

Per valutare i risultati dell'esperimento, viene fornita la tabella **Valutazione** dalla quale risulta evidente la relazione tra le correnti I_0, I_{R1}, I_{R2} e le resistenze R_0, R_1, R_2.

- Le tensioni U_{R1} and U_{R2} ai capi delle resistenze R_1 e R_2 sono uguali a

  _____

- Qual è la relazione tra le correnti I_{R1} e I_{R2} e la corrente totale I_0?

  _____

  _____

- Qual è la relazione tra il rapporto delle correnti I_{R1} e I_{R2} ed il rapporto delle resistenze R_1 e R_2?

  _____

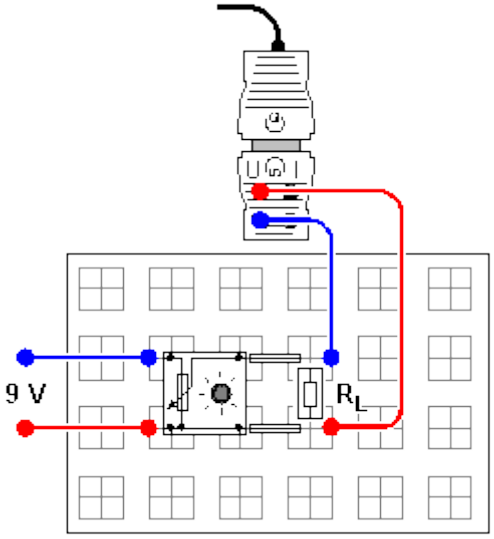
  _____

- Qual è la relazione tra la resistenza totale $R_0 = U_0/I_0$ e le resistenze R_1 e R_2?

  _____

  _____

Regolazione della tensione con il potenziometro



Esperimento

Misura della tensione parziale U_1 all'uscita del potenziometro in assenza di carico in diverse posizioni del cursore.

Misura della tensione parziale U_1 all'uscita del potenziometro in funzione della posizione del cursore con carichi R_L diversi; confronto di questi risultati con quelli ottenuti in assenza di carico (durante le misure R_L rimane costante).

Elenco delle apparecchiature

1	Pocket-CASSY	524 006
1	CASSY Lab	524 200
1	Sensore UIP	524 0621
1	Pannello a spina A4	576 74
1	Serie di 10 ponticelli a spina	501 48
1	Resistenza 47 Ω STE 2/19	577 28
2	Resistenze 100 Ω STE 2/19	577 32
1	Resistenza 150 Ω STE 2/19	577 34
1	Resistenza 470 Ω STE 2/19	577 40
1	Potenziometro 220 Ω, 3 W, STE 4/50	577 90
2	Cavi di collegamento, 25 cm, rossi	500 411
2	Cavi di collegamento, 25 cm, blu	500 412
1	Alimentatore, 0...15 V, regolabile	per es. 521 45
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Montaggio dell'esperimento (vedere figura)

Montare il circuito come indicato in figura e collegare il sensore UIP per la misura della tensione. Inizialmente non collegare il carico R_L.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Applicare una tensione totale di circa 9 V.
- Il potenziometro è privo di carico ($R_L = \infty$); premendo **F9** o cliccando , inserire nella tabella la tensione U_1 in diverse posizioni del cursore; inserire nella colonna P_N il numero corrispondente a ciascuna posizione del cursore.
- Prima di eseguire un'altra serie di misure con un nuovo carico, mettere sempre un segno su **Aggiungere una Nuova Serie di Misure** nella finestra Parametri della Misura (per es. premendo **F5**).

- Inserire nel circuito la resistenza STE di valore R_L = 470 Ω ed eseguire una nuova serie di misure con il potenziometro sotto carico.
- Ripetere l'esperimento con altri carichi R_L = 100 Ω, 47 Ω.

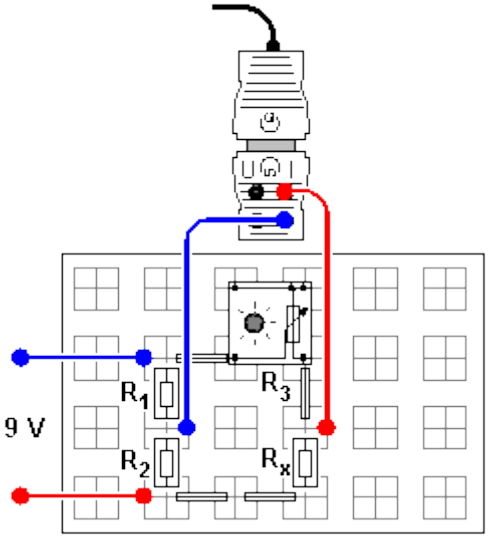
Valutazione dei risultati

- In un potenziometro privo di carico, qual è la relazione tra la tensione parziale U_1 e la resistenza R_1?

- Quale effetto produce un carico di resistenza R_L collegato all'uscita del potenziometro?

- Qual è l'andamento della curva ricavata sperimentalmente quando al potenziometro si collega un carico di resistenza R_L < 47 Ω?

Principio di funzionamento del ponte di Wheatstone



Esperimento

Misura della resistenza "incognita" R_x al variare della resistenza R_3 (potenziometro) fino all'annullamento della corrente nella diagonale che collega i due rami del ponte.

Elenco delle apparecchiature

1	Pocket-CASSY	524 006
1	CASSY Lab	524 200
1	Sensore UIP	524 0621
1	Pannello a spina A4	576 74
1	Serie di 10 ponticelli a spina	501 48
1	Resistenza 220 Ω STE 2/19	577 36
2	Resistenze 330 Ω STE 2/19	577 38
1	Resistenza 470 Ω STE 2/19	577 40
1	Resistenza 1 kΩ STE 2/19	577 44
1	Potenziometro 1 kΩ, 1 W STE 4/50	577 92
	o potenziometro a 10 giri 1 kΩ, 2 W	577 93
2	Cavi di collegamento, 25 cm, rossi	500 411
2	Cavi di collegamento, 25 cm, blu	500 412
1	Alimentatore, 0...15 V, regolabile	per es. 521 45
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Montaggio dell'esperimento (vedere figura)

Montare il circuito come indicato in figura, collegare le due resistenze di valore R_1 = 1 kΩ / R_2 = 470 Ω ed il sensore UIP per la misura della corrente.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Se necessario, da Settaggi I1 portare il display della corrente a **—> 0 <—**
- Applicare una tensione di circa 9 V.
- Scelta la resistenza R_x (per es. 330 Ω), regolare il potenziometro in modo che nella diagonale del ponte circoli la corrente I_1.
- Leggere il valore della resistenza variabile R_3 e scrivere nella tabella il risultato della lettura. Se si utilizza il potenziometro STE da 1 kΩ, il valore della resistenza R_3 si ricava dalla posizione della manopola: in corrispondenza dell'arresto di sinistra, la resistenza ha un valore di circa 1 kΩ
- Ripetere la misura con altre resistenze R_x.

Valutazione dei risultati

- Quale relazione intercorre tra i rapporti delle resistenze dei due rami del ponte affinché nella diagonale non circoli corrente ($I_1 = 0$)?

- Noti i valori delle resistenze R_1, R_2 e R_3, come si determina R_x?

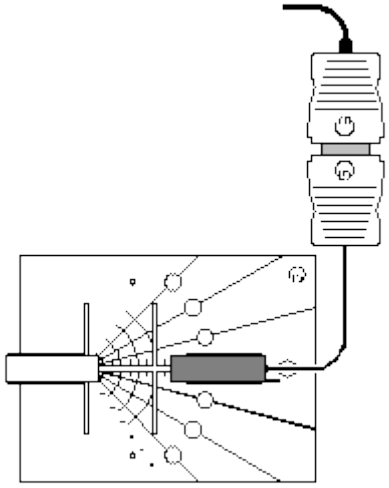
- Se il ponte è in equilibrio ($I_1 = 0$), quale relazione intercorre tra le tensioni U_1 e U_3 sulle resistenze R_1 e R_3 oppure tra le tensioni U_2 e U_x sulle resistenze R_2 e R_x?

- Se il ponte è in equilibrio ($I_1 = 0$), quale effetto produce la tensione di alimentazione U sulla determinazione della resistenza incognita R_x?

Nota

Naturalmente, la resistenza R_x si può determinare anche misurando la tensione U ai suoi capi e la circolazione di corrente I, cioè mediante la relazione $R_x=U/I$. Come avviene di solito, questo presuppone che si possa trascurare la resistenza interna degli strumenti. Se si usa il circuito a ponte, la resistenza interna dell'amperometro non influisce sulla misura poiché nello strumento non circola corrente. Il circuito a ponte permette di eseguire una misura precisa della quarta resistenza a condizione che siano noti con precisione i valori delle altre tre resistenze.

L'effetto della distanza fra la sorgente radiante ed il contatore a finestra sul tasso d'impulsi



Compito

Aumentare la distanza *d* fra la sorgente radiante ed il contatore a finestra passo passo, misurando ogni volta il tasso di impulsi *R*.

Elenco delle apparecchiature

1	Pocket-CASSY	524 006
1	CASSY Lab	524 200
1	Contatore Geiger S	524 0331
1	Piastra esperimenti RAD	309 00 372
1	Serie di 2 supporti per tubo contatore e preparato	308 01 356
1	Preparato Ra226 30,3 kBq	559 430
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

- Nel maneggiare il preparato radioattivo, osservare le note di sicurezza (vedere istruzioni per l'uso 559 430), cioè in particolare, togliere il preparato dalla custodia protettiva solo fino a quando è richiesto per l'esecuzione dell'esperimento, non avvicinare agli occhi l'apertura per l'emissione della radiazione, ed evitare di toccarla.
- Montare il tubo contatore ed il preparato Ra226 sulla piastra per esperimenti RAD in modo che siano opposti uno rispetto all'altro a una distanza di 2 cm.
- Rimuovere il cappuccio protettivo dal tubo contatore.

Nota: In nessun caso bisogna toccare la finestra del tubo contatore con un dito o con il preparato in quanto la lamina è molto sottile e potrebbe facilmente distruggersi.

Esecuzione dell'esperimento

☐ Carica settaggi

- Inserire la distanza 2 nella colonna d/cm della tabella. Avviare la misura con il tasto **F9** o con il pulsante . Appena termina la misura, il tasso di impulsi *R* viene automaticamente inserito nella tabella.
- Ripetere l'esperimento aumentando passo passo la distanza fra il contatore e il preparato. Aumentare ogni volta la distanza da 1 cm fino 10 cm.
- Rimettere il preparato Ra226 nella custodia protettiva.
- Abilitare **Aggiungi nuova serie di misure** nella finestra Parametri di misura.
- Ripetere l'esperimento senza preparato per ottenere il tasso zero dalla radiazione di fondo.
- Dopo l'esecuzione dell'esperimento, mettere attentamente il cappuccio protettivo al tubo contatore senza trattenere il cappuccio chiuso per la compensazione della pressione.

Valutazione

- Qual'è la differenza fra N_1 e il tasso di impulsi R?

- Come cambia il tasso di impulsi R rispetto alla distanza d fra il preparato e il tubo contatore?

- Quale curva è descritta dai valori misurati? Suggerimento:

- Conferma il suggerimento con una corrispondente curva di fit con Funzioni di adattamento.
- Quale la conclusione in riferimento alla relazione fra il tasso di impulsi R e la distanza d?

- Quali misure protettive derivano da questa relazione per maneggiare materiali radioattivi?

- Qual'è il valore del tasso zero R_0?

- A che distanza il preparato usato in questo esperimento può portare ad un irraggiamento aggiuntivo che è dell'ordine di grandezza della radiazione di fondo? Per determinare questa distanza, attivare Zoom per poter leggere il valore.

Esempi di esperimenti di fisica

Gli esperimenti proposti forniscono un utile supporto per l'uso di CASSY Lab. Per individuare un esperimento, quando è possibile, si utilizza lo stesso numero riportato nel Catalogo Generale di Esperimenti di Fisica. I dati delle misure o i vari settaggi si possono caricare direttamente da CASSY Lab. È sufficiente cliccare sui pulsanti riportati nella descrizione. I nuovi esperimenti sono indicati con un punto rosso •.

Meccanica

- Moto uniforme tra due barriere luminose
- Moto accelerato tra magnete a ritenuta e barriera luminosa
- P1.3.2.3a Moto con ruota a raggi (definizione di newton)
- P1.3.3.4-6 Moto sulla rotaia a cuscino d'aria (legge del moto di Newton)
- P1.3.4.1-2ab Conservazione dell'energia e della quantità di moto (urto)
- Conservazione della quantità di moto dalla misura del moto del centro di massa (urto)
- Conferma della relazione azione=reazione dalla misura delle accelerazioni (urto)
- P1.3.5.3 Caduta libera con scala-g
- Caduta libera con scala-g (con modellizzazione)
- P1.4.1.2 Moto rotatorio (legge del moto di Newton)
- P1.4.2.1-2 Conservazione del momento angolare e dell'energia (urto torsionale)
- Forza centrifuga (braccio rotante per forza centrifuga)
- P1.4.3.3 Forza centrifuga (apparecchio per la forza centrifuga)
- • Oscillazioni di un pendolo ad asta
- • Oscillazioni di un pendolo ad asta (con massa aggiuntiva)
- • Oscillazioni di un pendolo ad asta (con modellizzazione)
- • Dipendenza del periodo dell'oscillazione dall'ampiezza
- • Determinazione dell'accelerazione dovuta alla gravità della terra con un pendolo reversibile
- • Pendolo con accelerazioni dovute alla gravità cambiabili (pendolo per g variabile)
- P1.5.2.1 Oscillazioni armoniche di un pendolo a molla
- P1.5.2.2 Relazione tra il periodo di oscillazione del pendolo a molla e la massa
- Oscillazioni di un pendolo a molla (con modellizzazione)
- Oscillazioni di un pendolo a molla con attrito fra solidi (con modellizzazione)
- Oscillazioni di un pendolo a molla con attrito con lubrificante (con modellizzazione)
- Oscillazioni di un pendolo a molla con attrito di un liquido (con modellizzazione)
- Oscillazioni di un pendolo a molla con attrito di un liquido in turbolenza/attrito dell'aria (con modellizzazione)
- P1.5.4.4 Pendoli accoppiati con due generatori tachimetrici
- • Pendoli accoppiati con due sensori di moto rotatorio
- P1.7.1.3 Battimenti acustici
- P1.7.2.1 Vibrazioni di una fune
- P1.7.3.3 Velocità del suono nell'aria
- Determinazione della velocità del suono nell'aria con 2 microfoni
- P1.7.3.4 Velocità del suono nei gas
- P1.7.3.5 Velocità del suono nei corpi solidi
- P1.7.7.1 Analisi di Fourier e simulazione dei segnali
- P1.7.7.2 Analisi di Fourier dei segnali di un generatore di funzioni
- P1.7.7.4 Analisi armonica del suono
- Sintesi dei suoni

Calore

- P2.3.3.2 Conversione dell'energia meccanica in energia termica
- P2.3.4.3 Conversione dell'energia elettrica in energia termica
- P2.6.2.4 Diagramma pV di un motore ad aria calda

Elettricità

- P3.1.2.3 Legge di Coulomb
- P3.3.3.3 Forza in un campo magnetico generato da una bobina in aria
- P3.3.3.2 Forza in un campo magnetico generato da un elettromagnete
- P3.3.3.4 Forza tra due conduttori percorsi da corrente (definizione di ampere)
- P3.4.1.1 Impulso di tensione (legge dell'induzione di Faraday)
- P3.4.3.1-2 Induzione in un campo magnetico variabile
- P3.4.5.3 Tensione e corrente di un trasformatore in funzione del tempo
- P3.4.5.4 Trasformazione della potenza
- Potenza di carichi arbitrari funzionanti con tensione AC di rete
- Carica e scarica di un condensatore
- Carica e scarica di un condensatore (con modellizzazione)
- Carica e scarica di un piccolo condensatore (capacità di un cavo)
- Oscillatore smorzato
- Oscillatore smorzato (con modellizzazione)
- P1.7.7.3 Oscillatori accoppiati
- Oscillazioni forzate (risonanza)
- Oscillazioni forzate (risonanza, con modellizzazione)
- Filtro RLC (passa basso, passa alto, passa banda)
- Filtro passa basso (con modellizzazione)
- Filtro passa alto (con modellizzazione)

Elettronica

- P4.1.2.1 Caratteristica di una lampada ad incandescenza
- Caratteristica di un diodo
- Caratteristica di un transistor
- D3.4.7.7a Potenza caratteristica di una cella solare
- Controllo di temperatura
- Controllo di luminosità
- Controllo di tensione

Ottica

- P5.3.1.4 Diffrazione su una singola fenditura
- P5.3.1.5 Diffrazione su fenditure multiple
- P5.5.1.2a Intensità della luce inversamente proporzionale al quadrato della distanza
- P5.6.3.3 Velocità della luce nell'aria
- P5.6.3.4 Velocità della luce in materiali vari

Fisica atomica e nucleare

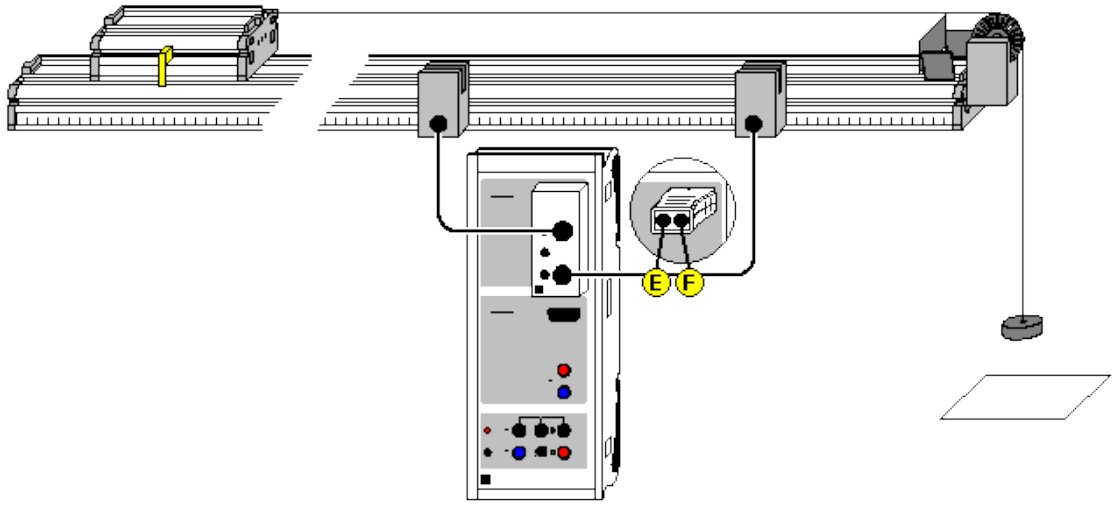
- P6.1.2.3-4 Esperimento di Millikan
- P6.2.4.2 Esperimento di Franck-Hertz con mercurio
- P6.2.4.4 Esperimento di Franck-Hertz con neon
- P6.3.5.4 Legge di Moseley (Righe K per fluorescenza di raggi X)
- P6.3.5.5 Legge di Moseley (Righe L per fluorescenza di raggi X)
- P6.3.5.6 Riflessione di Bragg dispersiva dell'energia in differenti ordini di diffrazione
- P6.3.7.2 Effetto Compton nei raggi X
- P6.4.2.1 Distribuzione di Poisson
- P6.4.3.2 Tempo di dimezzamento del radon
- P6.5.4.1 Esempi di spettroscopia della radiazione α (Am-241)
- P6.5.4.2 Determinazione della perdita di energia della radiazione α nell'aria
- P6.5.4.3 Determinazione della perdita di energia della radiazione α nell'alluminio e nell'oro
- P6.5.4.4 Esempio di determinazione dell'età del Ra-226
- P6.5.5.1 Rilevazione di radiazione γ con un contatore a scintillazione (Cs-137)
- P6.5.5.2 Registrazione e calibrazione di uno spettro γ
- P6.5.5.3 Assorbimento di radiazione γ
- P6.5.5.4 Esempi di identificazione e determinazione di attività radioattive deboli

- P6.5.5.5 Registrazione di uno spettro β usando un contatore a scintillazione
- P6.5.6.1 Osservazione quantitativa dell'effetto Compton
- Registrazione dello spettro complesso γ del Ra-226 e i suoi prodotti di decadimento
- Registrazione dello spettro complesso γ di una cappa di gas incandescente
- P6.5.5.6 Coincidenze e correlazione angolare γ-γ nel decadimento di un positrone
- Misure con l'analizzatore monocanale

Fisica dello stato solido

- P7.2.2.1-2 Conduzione elettrica nei corpi solidi
- P7.3.2.1 Isteresi di un materiale ferromagnetico
- P7.5.1.1 Analisi non distruttiva della composizione chimica (fluorescenza di raggi X)
- P7.5.1.2 Determinazione della composizione chimica di un campione di ottone (fluorescenza a raggi X)

Moto uniforme tra due barriere luminose



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

L'esperimento consiste nel misurare il tempo t impiegato da uno slittino per percorrere, a velocità costante v, le diverse distanze (percorsi) s che separano due barriere luminose. La distanza s si legge direttamente sulla scala della rotaia, mentre il diagramma s(t) si ricava via software.

Il software calcola la velocità media $v_m = s/t$; ricavati questi valori, determina anche il diagramma $v_m(t)$.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Timer box o Timer S	524 034 o 524 074
1	Rotaia	337 130
1	Slittino per rotaia	337 110
1	Piattello per peso a intaglio	315 410
4	Pesi a intaglio	315 418
2	Barriere luminose combinate	337 462
1	Sostegno per barriera luminosa combinata	337 463
1	Ruota a raggi combinata	337 464
1	Filo di refe, 10 m	309 48
2	Cavi di collegamento, 6-poli	501 16
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Montare le due barriere luminose sulla rotaia in modo che la bandierina dello slittino possa interrompere i due raggi luminosi. Collegare le barriere luminose agli ingressi E ed F del timer-box posto sull'ingresso A di Sensor-CASSY. Lo slittino si deve spostare sempre dalla barriera luminosa collegata ad E verso quella collegata ad F.

Per ottenere una velocità costante nello spazio compreso tra le due barriere, compensare l'attrito inclinando leggermente la rotaia.

Prima di ogni misura, bisogna imprimere allo slittino un'accelerazione costante il cui valore deve essere facilmente riproducibile. Questo si ottiene accelerando lo slittino a partire sempre dalla stessa posizione con un peso che si blocca al termine di un percorso prestabilito (per es. contro un ostacolo). Lo slittino si muove, così, a velocità costante.

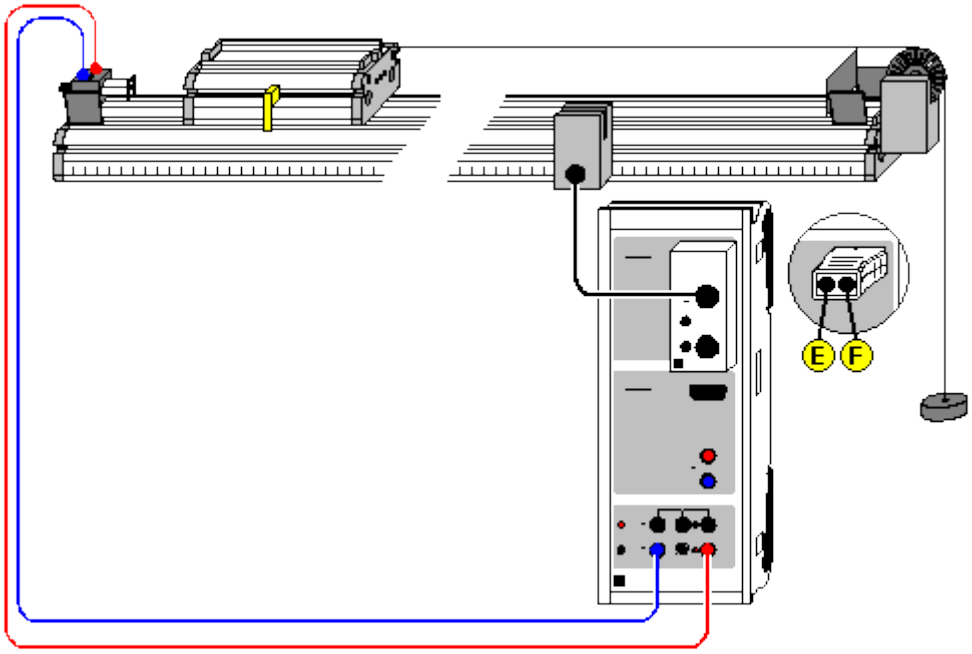
Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Far muovere lo slittino a velocità costante attraverso le due barriere luminose come descritto precedentemente.
- Salvare i risultati delle misure con **F9**.
- Leggere la distanza s tra le due barriere luminose ed inserire nella tabella il valore trovato (selezionare con il mouse la cella desiderata ed inserire il dato con la tastiera).
- Ripetere la misura con distanze s diverse; far muovere lo slittino attraverso le due barriere luminose sempre con la stessa velocità e salvare i risultati con **F9**.

Valutazione dei risultati

Il diagramma s(t) del moto uniforme ha andamento lineare. La pendenza della retta è proporzionale alla velocità v il cui valore si può determinare interpolando con l'andamento lineare. Per leggere direttamente il rapporto $v_m = s/t$, cliccare su **Velocità media**.

Moto accelerato tra magnete a ritenuta e barriera luminosa



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

In questo esperimento si misura il tempo t impiegato da uno slittino che percorre con moto uniformemente accelerato le diverse distanze (percorsi) s che separano un magnete a ritenuta da una barriera luminosa. La distanza s si legge direttamente sulla scala della rotaia, mentre il diagramma s(t) si ricava via software.

Il programma determina la velocità media $v_m = s/t$ ed inserisce i valori trovati nel diagramma $v_m(t)$.

Si determinano anche i tempi di oscuramento Δt della barriera luminosa dovuti alla larghezza Δs della bandierina. Noti questi valori, si può ricavare con buona approssimazione la velocità istantanea $v = \Delta s/\Delta t$ in corrispondenza della barriera luminosa e mostrare i risultati ottenuti in un diagramma v(t). In questo modo, è possibile individuare facilmente la differenza tra velocità media e velocità istantanea.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Timer box o Timer S	524 034 o 524 074
1	Rotaia	337 130
1	Slittino per rotaia	337 110
1	Piattello per peso a intaglio	315 410
4	Pesi a intaglio	315 418
1	Magnete a ritenuta	683 41
1	Barriera luminosa combinata	337 462
1	Sostegno per barriera luminosa combinata	337 463
1	Ruota a raggi combinata	337 464
1	Filo di refe, 10 m	309 48
1	Cavo di collegamento, 6-poli	501 16
1	Coppia di cavetti, 1 m, rosso e blu	501 46
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Montare la barriera luminosa sulla rotaia in modo che la bandierina dello slittino possa interrompere il raggio luminoso. Collegare la barriera luminosa all'ingresso E del timer-box posto sull'ingresso A di

Sensor-CASSY. Il magnete a ritenuta è alimentato dall'uscita di tensione S di Sensor-CASSY. Sensor-CASSY disattiva tale uscita nello stesso istante in cui viene avviata la misura.

Per ottenere dei buoni risultati dalla misura, compensare l'attrito inclinando leggermente la rotaia.

Accelerare lo slittino con un peso di valore costante. Regolare la tensione del magnete a ritenuta su un valore appena sufficiente a tener fermo lo slittino.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- La durata della misura si può regolare attraverso la finestra di dialogo Parametri di Misura (valore corrente 2 s).
- Tenere in posizione lo slittino con il magnete a ritenuta.
- Avviare la misura con **F9** (lo slittino comincia a muoversi).
- Leggere la distanza s tra il magnete a ritenuta e la barriera luminosa ed inserire nella tabella il valore trovato (selezionare con il mouse la cella desiderata ed inserire il dato con la tastiera).
- Ripetere la misura con distanze s diverse; tenere fermo in posizione lo slittino con il magnete a ritenuta ed avviare la misura con **F9**.

Valutazione dei risultati

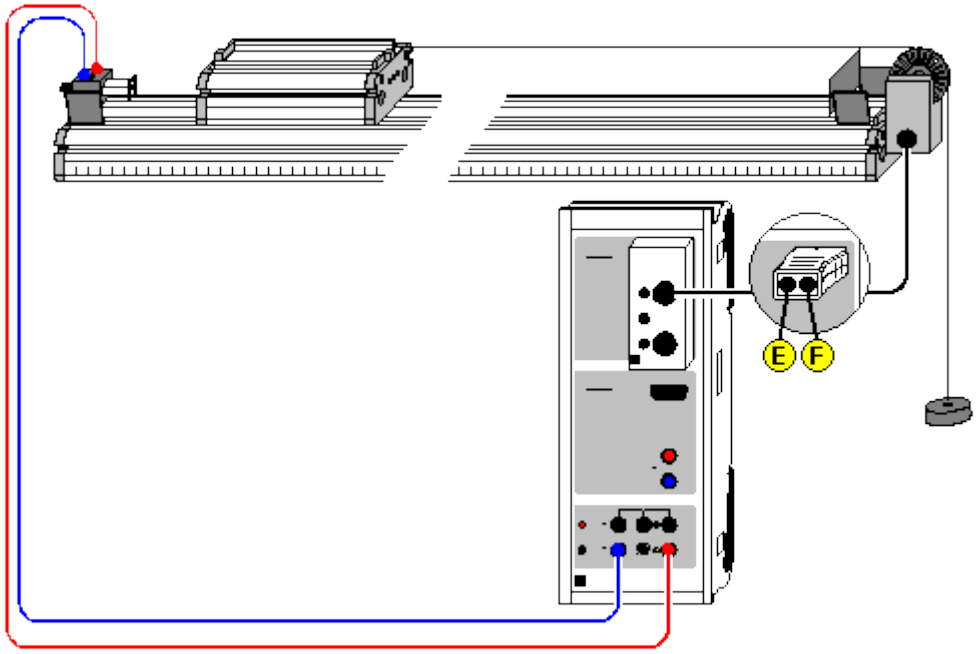
Il diagramma s(t) del moto uniformemente accelerato è una parabola. Si può verificare questo risultato interpolando con la parabola.

Cliccando su **Velocità media**, si può vedere che la velocità media v_m = s/t aumenta. Infatti, nel moto accelerato, nello stesso istante t **non** c'è corrispondenza tra velocità media e velocità istantanea.

La velocità istantanea v si può determinare con buona approssimazione mediante l'intervallo di tempo Δt in cui la larghezza Δs della bandierina interrompe la barriera luminosa. I diagrammi con i tempi di oscuramento e le velocità istantanee si possono visualizzare e leggere direttamente cliccando sull'apposita intestazione.

Si nota che il diagramma v(t) del moto uniformemente accelerato ha andamento lineare. La pendenza della retta è proporzionale all'accelerazione a il cui valore si può determinare interpolando con andamento lineare.

Moto con ruota a raggi (definizione di newton)



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Questo esperimento analizza il moto trasmesso ad una ruota a raggi mediante un filo sottile. La ruota a raggi funziona come una carrucola a bassissimo attrito e contemporaneamente serve a misurare lo spostamento. I segnali generati dalla ruota attraverso la barriera luminosa sono registrati e convertiti in un diagramma spazio tempo. Poiché questo diagramma viene tracciato in tempo reale durante l'esperimento, si ottiene una chiara corrispondenza tra legge del moto e diagramma.

Seguendo il solito procedimento, si può determinare l'accelerazione di una massa m = 1 kg sotto l'azione di una forza F = 1 N. A conferma della teoria, si trova un'accelerazione a = 1 m/s^2 (definizione di newton).

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Timer box o Timer S	524 034 o 524 074
1	Rotaia	337 130
1	Slittino per rotaia	337 110
1	Serie di pesi per la definizione di newton	337 115
1	Magnete a ritenuta	683 41
1	Barriera luminosa combinata	337 462
1	Ruota a raggi combinata	337 464
1	Filo di refe, 10 m	309 48
1	Cavo di collegamento, 6-poli	501 16
1	Coppia di cavetti, 1 m, rosso e blu	501 46
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

La ruota a raggi funziona sia come carrucola sia come generatore di segnali. La barriera luminosa è collegata all'ingresso E del timer-box posto sull'ingresso A di Sensor-CASSY e sorregge la ruota a raggi. I vari raggi, interrompendo la barriera luminosa, trasmettono a Sensor-CASSY un segnale per ogni centimetro di spostamento. Il magnete a ritenuta riceve questa tensione dall'uscita di tensione S di Sensor-CASSY. Sensor-CASSY disattiva tale uscita nello stesso istante in cui viene avviata la misura.

Per ottenere la forza F = 1 N, bisogna usare una massa di 102 g. Lo slittino (comprendente il sistema di rotolamento) va zavorrato in modo da raggiungere una massa di 898 g, per cui la massa totale risulta m = 1 kg. Questo si ottiene utilizzando i pesi addizionali per la definizione di newton.

Per ottenere dei buoni risultati dalla misura, compensare l'attrito inclinando leggermente la rotaia.

Regolare la tensione del magnete a ritenuta su un valore appena sufficiente a tener fermo lo slittino.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Si può modificare il parametro per l'arresto automatico della misura in Settaggi sA1 (valore corrente 70 tacche per 0,7 m).
- La durata della misura si può modificare attraverso la finestra di dialogo Parametri di misura (valore corrente 2 s).
- Tenere in posizione lo slittino con il magnete a ritenuta.
- Definire l'origine del percorso (**—> 0 <—** in Settaggi sA1)
- Avviare la misura con **F9** (lo slittino comincia a muoversi).
- La misura si arresta automaticamente dopo il numero di tacche prestabilito.
- Volendo, si può ripetere la misura con forze F di valore diverso; mettere in posizione lo slittino con il magnete a ritenuta, definire l'origine del percorso ed avviare la misura con **F9**.

Valutazione dei risultati

Il diagramma s(t) del moto uniformemente accelerato è una parabola. Si può verificare questo risultato interpolando con la parabola.

Cliccando su **Velocità**, si possono vedere i diversi valori di velocità v(t) ottenuti dal calcolo. Si nota che il diagramma v(t) del moto uniformemente accelerato ha andamento lineare. La pendenza della retta è proporzionale all'accelerazione a il cui valore si può determinare interpolando con l'andamento lineare.

In questo esempio, si è utilizzata una forza F = 1 N ed una massa m = 1 kg (definizione di newton); dal diagramma v(t), dopo un tempo t = 1 s, si ottiene una velocità v di 1 m/s. Infatti, il diagramma v(t) ha andamento lineare ed ha una pendenza proporzionale all'accelerazione a = 1 m/s^2.

Nota

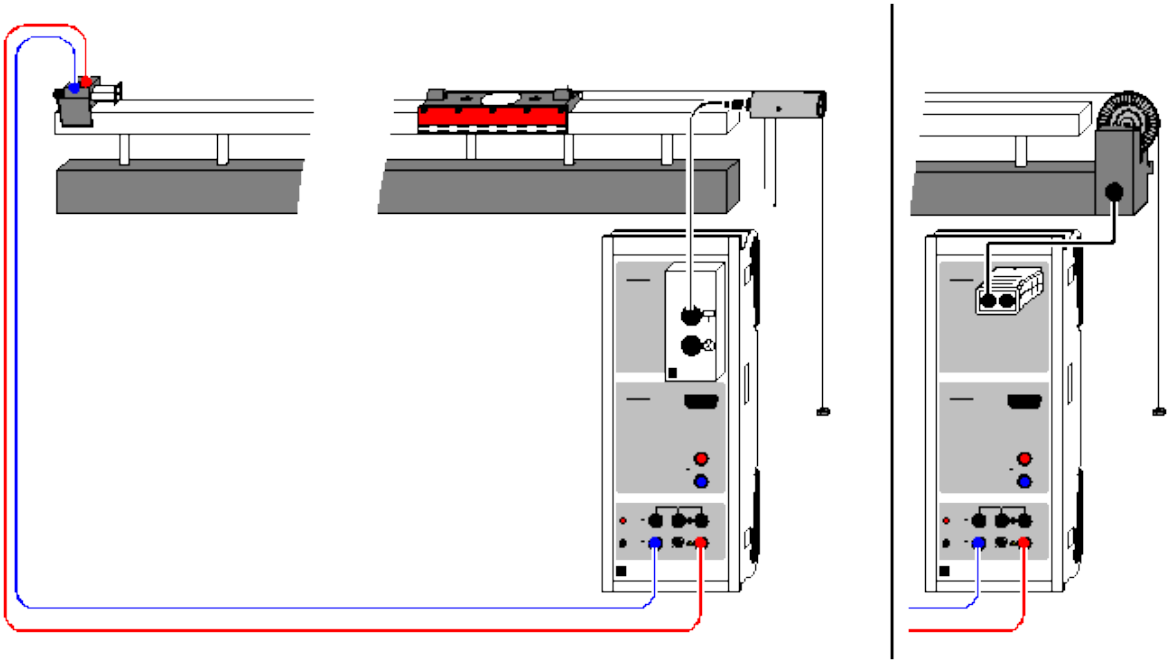
I singoli valori v(i) della velocità si calcolano in questo modo:

v(i) = (s(i+1) – s(i-1)) / (t(i+1) – t(i-1))

Ciascun valore rappresenta la velocità media nell'intervallo [t(i-1),t(i+1)]; esso corrisponde, approssimativamente, alla velocità nell'istante ½ (t(i-1) + t(i+1)) e non nell'istante t(i).

Di questo si è già tenuto conto nella visualizzazione di v(t) operando una opportuna conversione dell'asse dei tempi.

Moto sulla rotaia a cuscino d'aria (legge del moto di Newton)



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Uno slittino di massa m costante è accelerata da una forza F variabile. Se si determina sperimentalmente l'accelerazione a e si traccia il suo andamento in funzione della forza F applicata, si trova che F è proporzionale ad a (dove m è il coefficiente di proporzionalità); in questo modo, si conferma la validità della legge del moto di Newton F = m·a.

Alternativamente, si può applicare una forza di valore costante e variare la massa m. In questo caso, si trova che m è proporzionale ad 1/a (F è il coefficiente di proporzionalità).

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	BMW box	524 032
1	Trasduttore di spostamento	337 631
	o	
1	Timer S	524 074
1	Barriera luminosa combinata	337 462
1	Ruota a raggi combinata	337 464
1	Rotaia a cuscino d'aria	337 501
1	Soffiera per rotaia	337 53
1	Regolatore di potenza	667 823
1	Cavo di collegamento, 6-poli	501 16
1	Coppia di cavetti, 1 m, rosso e blu	501 46
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Per prima cosa, mettere in funzione la rotaia; regolare la tensione del magnete a ritenuta su un valore appena sufficiente a tener fermo lo slittino. Lo slittino è accelerato dai pesi collegati al filo di trasmissione. Il filo di trasmissione passa attorno al trasduttore di spostamento il quale è collegato alla boccola superiore del BMW box inserito su Sensor-CASSY.

Nel computo della massa m, bisogna tener conto anche della presenza dei pesi che generano la forza motrice. Se la massa deve rimanere costante, i pesi che non vengono utilizzati per accelerare il sistema vanno messi sullo slittino.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Come condizione di misura, inserire il massimo spostamento s_{A1} in Parametri di misura (aprire il dialogo con **F5**); valore corrente: **sA1 < 0.8** che corrisponde a 0.8 m
- Si può modificare l'intervallo di tempo (valore corrente 200 ms) in Parametri di misura (aprire il dialogo con **F5**); un aumento dell'intervallo di tempo comporta un maggior numero di misure e quindi minore dispersione per l'andamento di a(t).
- Si può presentare la necessità di invertire il verso dello spostamento (selezionare **s <—> -s** in Settaggi sA1).
- Tenere in posizione lo slittino con il magnete a ritenuta.
- Definire l'origine del percorso (**—> 0 <—** in Settaggi sA1)
- Avviare la misura con **F9** e, a fine esperimento, terminare sempre con **F9**. Si possono cancellare dalla tabella i valori errati con **Cancella Ultima Serie di Misure** (cliccare sulla tabella con il pulsante destro del mouse).
- Ripetere la misura con parametri differenti (valori diversi della forza applicata o della massa). Assicurarsi di aver definito l'origine del percorso.

Valutazione dei risultati

Oltre al diagramma s(t), il software determina anche i diagrammi v(t) ed a(t). I diagrammi si possono vedere cliccando semplicemente sulle rispettive intestazioni. Per fare le dovute valutazione, sono disponibili le funzioni parabola e retta e calcolo del valor medio.

Per verificare la legge del moto di Newton, bisogna completare un'altra tabella già predisposta allo scopo. Dopo aver determinato un valore dell'accelerazione come media dal diagramma a(t) oppure dalla pendenza del diagramma v(t), si può usare il mouse per trascinare questo valore dalla linea di stato e incollarlo nella tabella (trascina & incolla). Mediante tastiera, inserire la forza F o la massa m; noti questi valori, si ottiene il diagramma cercato. Cliccando sugli assi con il pulsante destro del mouse, si può cambiare facilmente la grandezza riportata e modificare la scala (per es. a —> 1/a).

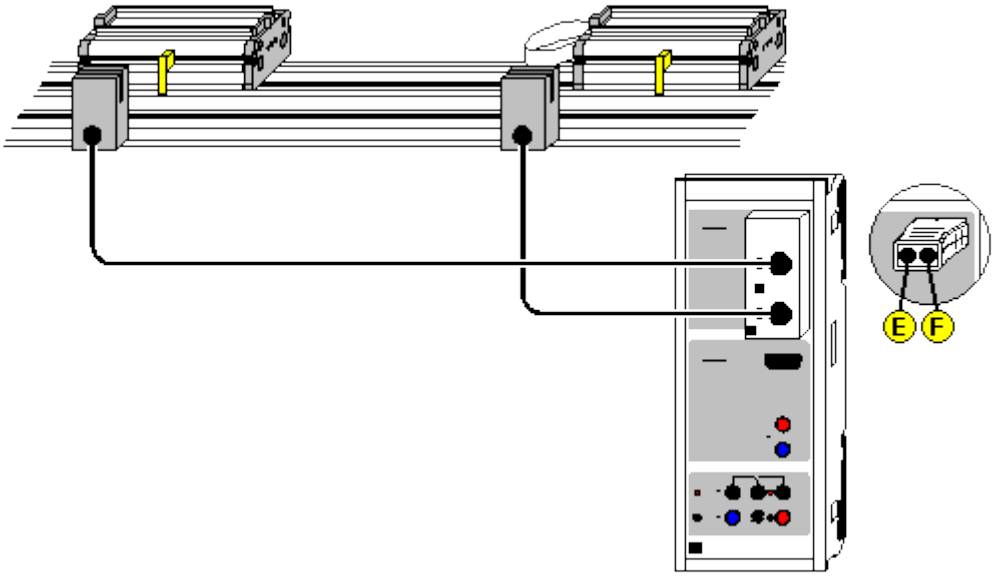
Come ulteriore valutazione, utilizzando formule, si può fare il confronto tra energia cinetica e lavoro. L'energia cinetica è data da:

E = **0.5*m*v^2** (massa m in forma numerica)

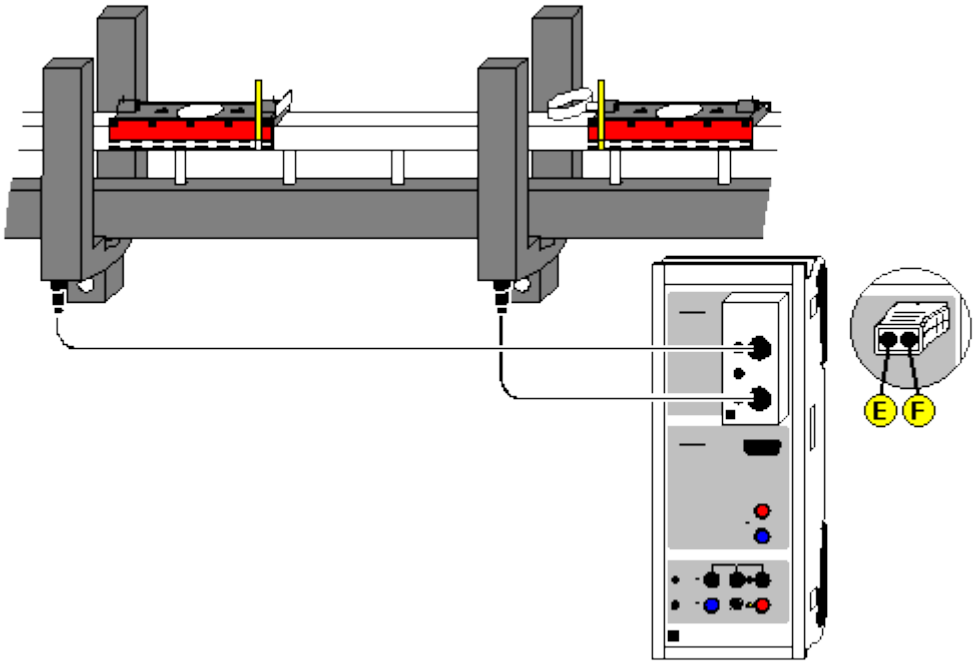
mentre il lavoro è dato da:

W = **F*sA1** (forza F in forma numerica).

Conservazione dell'energia e della quantità di moto (urto)



Alternativamente (con rotaia a cuscino d'aria):



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

La rotaia permette di misurare le velocità v di due slittini prima e dopo l'urto in base ai tempi di oscuramento di due barriere luminose. In questo modo, è possibile verificare la legge di conservazione della quantità di moto negli urti elastici ed anelastici e la conservazione dell'energia negli urti elastici.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200

1	Timer box o Timer S	524 034 o 524 074
1	Rotaia	337 130
2	Slittini per rotaia	337 110
1	Coppia di masse aggiuntive	337 114
1	Molla per urto	337 112
2	Barriere luminose combinate	337 462
2	Cavi di collegamento, 6-poli	501 16
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Alternativamente (con rotaia a cuscino d'aria)

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Timer box o Timer S	524 034 o 524 074
1	Rotaia a cuscino d'aria	337 501
1	Supporto per rotaia	337 45
1	Soffiera per rotaia	337 53
1	Regolatore di potenza	667 823
2	Barriere luminose a forchetta	337 46
2	Cavi di collegamento, 6-poli	501 16
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Prima di tutto, mettere in funzione la rotaia e posizionare le due barriere luminose (sugli ingressi E ed F del timer-box) in modo che l'urto degli slittini avvenga **tra** le due barriere. Le bandierine dei due slittini debbono interrompere le barriere luminose durante l'attraversamento.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Inserire le masse m_1 ed m_2 nella tabella (per inserire i dati da tastiera, selezionare con il mouse le celle delle colonne m_1 ed m_2).
- Prima dell'urto, posizionare gli slittini correttamente rispetto alle barriere luminose E ed F (Settaggi v1, v2, v1´ o v2´). Si hanno quattro diverse situazioni:
  Entrambi gli slittini all'esterno delle barriere luminose.
  Slittino di sinistra tra le due barriere luminose, slittino di destra all'esterno
  Slittino di destra tra le due barriere luminose, slittino di sinistra all'esterno
  Entrambi gli slittini all'interno delle barriere luminose (esplosione).
- Inserire la larghezza delle bandierine (sempre in Settaggi v1, v2, v1´ o v2´).
- Dare inizio agli urti (se le velocità compaiono prima degli urti, bisogna cancellare questi valori con **—> 0 <—**) e fare attenzione che le barriere luminose non ricevano impulsi accidentali (per es. quelli dovuti alla riflessione di uno slittino alla fine della rotaia).
- Terminare la misura con **Fine degli urti** (la misura termina automaticamente dopo la misura delle quattro velocità).
- Trasferire i risultati nella tabella con **F9** e fare le valutazioni oppure passare alla misura successiva con **—> 0 <—**.

Valutazione dei risultati

Le tabelle sono già predisposte per inserire la quantità di moto prima e dopo l'urto, la quantità di moto totale, l'energia, l'energia totale e la perdita di energia; per trasferire nelle tabelle i risultati delle misure, usare il tasto **F9**. I valori si visualizzano cliccando sulle intestazioni della tabella. Per visualizzare tali grandezze subito dopo l'urto, aprire lo strumento corrispondente.

È possibile definire formule addizionali per confrontare i risultati ottenuti con quelli teorici. Per l'urto elastico, si ha:

v1´ = (2*m2*v2 + (m1-m2)*v1) / (m1+m2)
v2´ = (2*m1*v1 + (m2-m1)*v2) / (m1+m2)

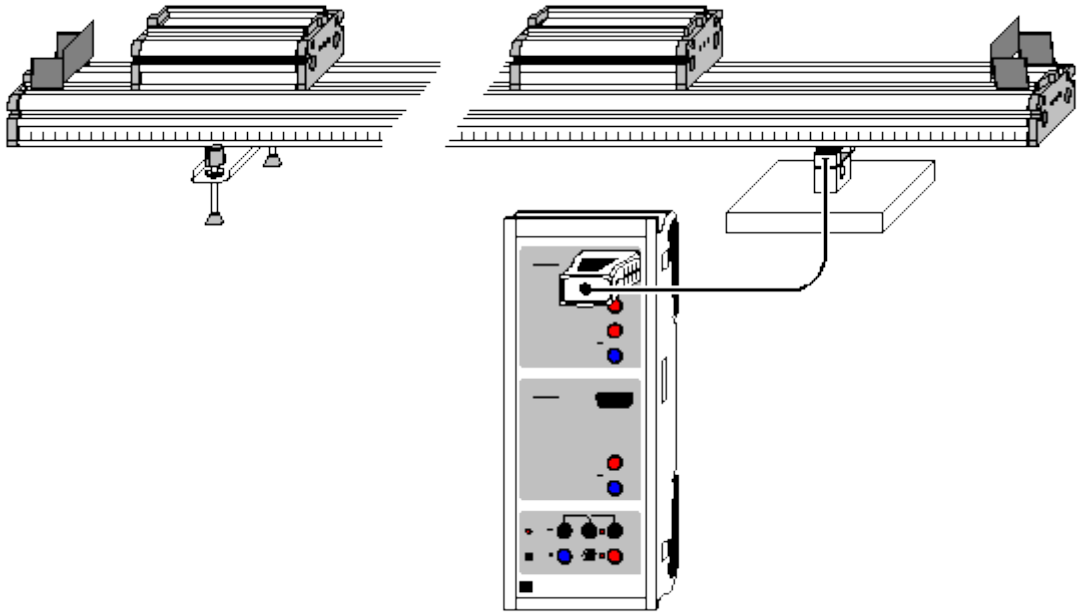
Per l'urto anelastico, si ha:

v1´ = v2´ = (m1*v1 + m2*v2) / (m1+m2).

Tabella di conversione delle unità di misura in unità SI

Grandezza	Unità SI =	Fattore	· Unità specificata
Massa m	kg	1	kg
Velocità v	m/s	1	m/s
Quantità di moto p	N·s = kg·m/s	1000	mN·s
Energia E	J = kg·m^2/s^2	1000	mJ

Conservazione della quantità di moto dalla misura del moto del centro di massa (urto)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Il moto del centro di massa viene osservato durante un urto elastico e anelastico di due carrelli. Come risultato, viene mostrato che per entrambi i casi la velocità del centro di massa è costante durante l'intero processo d'urto. La conservazione della quantità di moto durante l'intero processo d'urto è una immediata conseguenza di questo esperimento.

Principio di misura

Su una rotaia il moto del centro di massa di due carrelli di massa m_1 e m_2 in collisione viene facilmente determinato dalla forza F di appoggio in un sensore di forza.

Per questo, se viene considerato la somma dei momenti delle forze intorno al punto di appoggio a sinistra, la somma deve essere 0 – con la rotaia a riposo -, cioè.

$m_1 \cdot g \cdot s_1 + m_2 \cdot g \cdot s_2 + F \cdot d = 0$,

dove d è la distanza fra I due punti di appoggio. Il centro di massa è dato da

$s = (m_1 \cdot s_1 + m_2 \cdot s_2) / (m_1 + m_2)$.

Per questo si ottiene

$s \cdot g/(m_1 + m_2) + F \cdot d = 0$

o

$s = -F \cdot d/(m_1 + m_2)/g$.

In questo modo è sufficiente la misura della forza F di appoggio, per determinare il moto del centro di massa durante un urto. Se s(t) è una linea retta, significa che il centro di massa si muove ad una velocità v costante, cioè

$v = (m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2) / (m_1 + m_2) = p / (m_1 + m_2) =$ costante.

Segue che si conserva la quantità di moto totale p.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Sensore di forza S, ±50 N	524 042
1	Rotaia	337 130
2	Carrello	337 110
1	Coppia di masse aggiuntive	337 114
1	Molla per urto	337 112
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Il sensore di forza S viene posto sotto la rotaia al posto del supporto destro in modo che la rotaia sia sempre orizzontale o, se necessario, che l'attrito sia compensato. Poichè il sensore di forza è un poco più corto del supporto, il sensore di forza deve essere regolato.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Inserire le masse m_1 e m_2 e la distanza d fra I due punti di sostegno negli strumenti visualizzati (premere il pulsante destro del mouse ed inserirle come parametro). La massa totale di un carrello è la soma della massa dei carrelli (0,5 kg) e, se presente, della molla (0,01 kg) e della massa aggiuntiva (0,5 kg).
- Settare la forza a **—> 0 <—** in Settaggi FA1; in questo modo viene settato a 0 anche il centro di massa s.
- Avviare la misura con **F9**.
- Provocare un urto elastico o anelastico; la misura si ferma automaticamente dopo 5 s.

Valutazione

La visualizzazione **Standard** mostra il diagramma F(t), e la visualizzazione **Centro di massa** mostra il diagramma associato s(t) (vedere principio della misura).

Entrambi i diagrammi mostrano un andamento lineare, anche in presenza dell'urto. Dal diagramma s(t) si ottiene la velocità v del centro di massa e quindi la quantità di moto totale $p(t) = (m_1+m_2) \cdot v$ costante con una linea di fit.

D'altronde, segue dalla conservazione della quantità di moto che

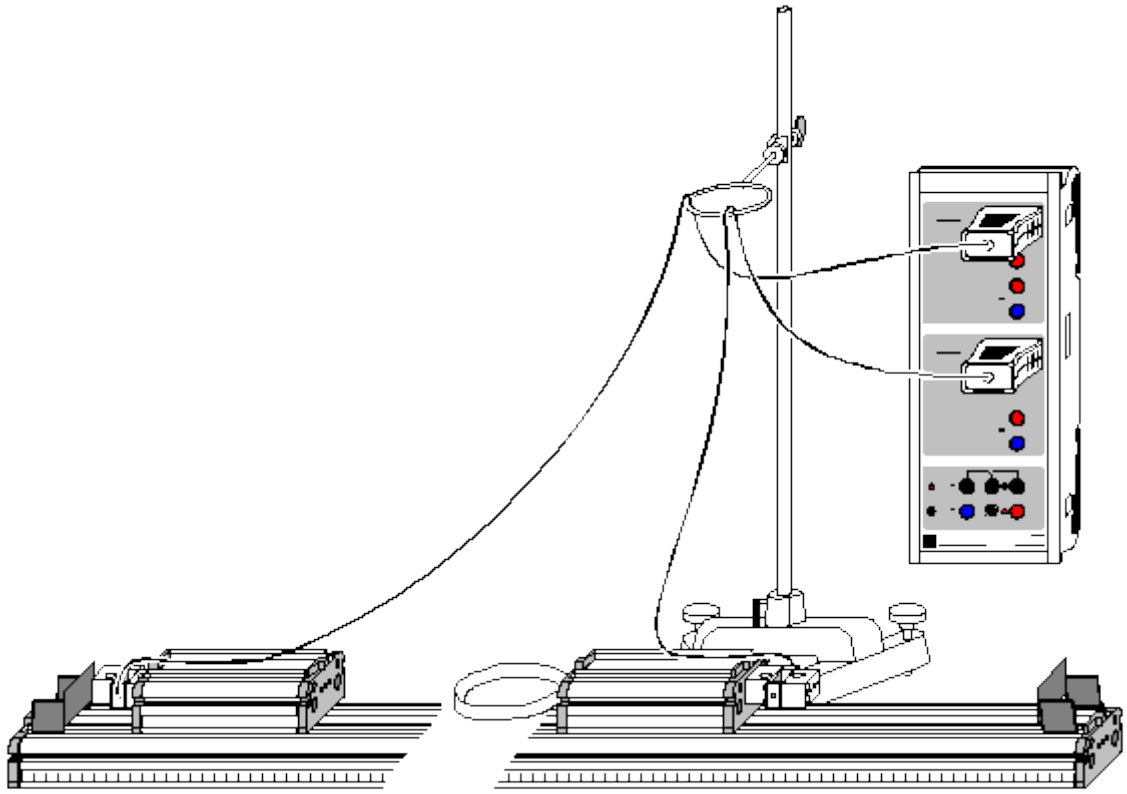
$0 = d/dt\ (p_1(t) + p_2(t)) = m_1 \cdot a_1(t) + m_2 \cdot a_2(t) = F_1(t) + F_2(t)$,

cioè

$F_1(t) = -F_2(t)$ ("azione = reazione").

La conclusione consiste nel fatto che p(t) è una costante, in particolare durante il processo d'urto. Il solo fatto che la quantità di moto prima e dopo l'urto è la stessa (p. es. dalla misura con barriere luminose) non giustifica la conclusione.

Conferma della relazione azione=reazione dalla misura delle accelerazioni (urto)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Durante un urto elastico vengono misurate le accelerazioni $a_1(t)$ e $a_2(t)$. Se le accelerazioni misurate si moltiplicano per le masse m_1 e m_2, si ottengono le forze $F_1(t)$ e $F_2(t)$. La relazione $F_1(t) = -F_2(t)$ viene confermata per l'intervallo di tempo durante il quale avviene l'urto.

Principio di misura

Se si fissa ad un carrello un sensore di forza di massa m in modo che la metà del sensore cui è fissato il peso è saldamente montata sul carrello, l'altra metà della massa m/2 è sospesa ed è mobile. Se il carrello viene accelerato, questa massa esercita la forza d'inerzia $F=m \cdot a/2$. Questa forza è misurata dal sensore di forza ed automaticamente convertita nell'accelerazione a.

Una volta inserite le due masse accelerate (carrello + sensore di forza + molla), il software calcola le due forze $F_1(t) = m_1 \cdot a_1(t)$ e $F_2(t) = m_2 \cdot a_2(t)$.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
2	Sensori di forza S, ±50 N	524 042
4	Spine di accoppiamento	340 89
1	Rotaia	337 130
2	Carrelli	337 110
1	Coppia di masse aggiuntive	337 114
1	Molla grande per urto	337 473
1	Base di sostegno, a V, 20 cm	300 02

1	Asta di sostegno, 1 m	300 44
1	Morsetto con anello	301 10
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Fissare I due sensori di forza all'esterno dei carrelli con 2 spine di accoppiamento ciascuno in modo che I pesi vengono fissati ai carrelli e non alla parte mobile dei sensori di forza. Fermare i pesi in modo che non si muovano con i sensori di forza durante l'urto (p. es. fissarli ai carrelli con del nastro adesivo). In aggiunta, guidare I pesi in modo da non ostacolare I carrelli durante l'urto.

L'urto è intercettato da una grande molla, che è fissata su uno dei due carrelli. E' stata deliberatamente proposta la grande molla poichè permette un tempo d'urto più lungo in modo da registrare più valori misurati. Comunque, la molla è relativamente morbida e non deve essere sovraccaricata nel processo d'urto.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Inserire le masse m_1 e m_2 negli strumenti di visualizzazione (premere il pulsante destro del mouse ed inserirle come parametri). La massa totale di un carrello è la somma della massa del carrello (0,5 kg), del sensore di forza (0,1 kg) e, se presente, della massa della molla (0,01 kg) e delle masse aggiuntive (0,5 kg).
- Settare l'accelerazione a **—> 0 <—** in Settaggio di aA1 e aB1.
- Avviare la misura con **F9**.
- Eseguire un urto elastico; la misura si ferma automaticamente dopo 5 s.

Valutazione

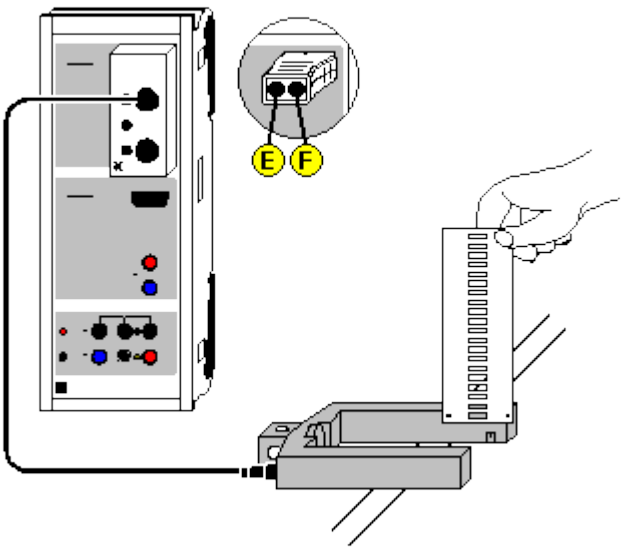
La visualizzazione **Standard** mostra I due diagrammi a(t)e la visualizzazione **Forza** i diagrammi associati F(t) (vedere principio della misura).

Nei diagrammi F(t) si vede facilmente che

$F_1(t) = -F_2(t)$ ("Azione = Reazione").

Da questo può essere dedotta immediatamente la conservazione della quantità di moto come l'integrale sotto entrambe le curve (trasferimento della quantità di moto) fra tempi arbitrari t_1 e t_2 che hanno sempre la stessa grandezza e segni opposti.

Caduta libera con scala-g



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Quando una scala a pioli cade attraverso una barriera luminosa, il software registra i tempi di oscuramento dei raggi di luce causati da tale attraversamento. La distanza tra i pioli sono in stretta relazione con le informazioni fornite dal diagramma s(t) che caratterizza la legge del moto della scala durante la caduta. Nota questa relazione, si può calcolare la velocità v(t) e l'accelerazione a(t) e, quindi, calcolare anche l'accelerazione di gravità g.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Timer box o Timer S	524 034 o 524 074
1	Scala-g	529 034
1	Barriera luminosa	337 46
1	Cavo di collegamento, 6 poli	501 16
1	Serie di pesi, 50 g, opzionale	342 61
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Sospendere la scala-g sopra la barriera luminosa in modo che, durante la caduta, i pioli possano interrompere i raggi luminosi. La barriera luminosa è collegata a Sensor-CASSY attraverso l'ingresso E del timer-box. Collegando alla scala dei pesi di valore diverso, si può verificare che l'accelerazione di gravità non dipende dalla massa del corpo. Inoltre, la resistenza aerodinamica della scala g può essere aumentata o diminuita applicandogli delle piccole ali o fogli di plastica trasparente.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Avviare la misura con **F9**.
- Lasciare cadere la scala in modo che tutti i suoi 21 pioli attraversino i raggi della barriera luminosa.
- La misura si arresta automaticamente dopo 0,2 secondi dall'istante in cui viene rilevato il passaggio del primo piolo, oppure dopo 21 pioli. Si possono cancellare dalla tabella i valori errati con **Cancella Ultima Serie di Misure** (cliccare sulla tabella con il pulsante destro del mouse).
- Utilizzando il tasto **F9**, si può ripetere la misura con masse ed altezze di caduta differenti.

Valutazione dei risultati

L'esempio è stato predisposto con le seguenti intestazioni: spostamento s(t), velocità v(t) ed accelerazione a(t). Si accede alle varie grandezze cliccando su di esse con il mouse L'accelerazione di gravità g si può determinare in tre modi diversi: dal diagramma s(t) interpolandolo con la parabola, dal diagramma v(t) interpolandolo con la retta e dal diagramma a(t) calcolando il valore medio. Con **F6**, si può allargare il formato dei valori numerici contenuti nella linea di stato.

Quando il primo gradino attraversa la barriera luminosa, la scala ha già acquistato una certa velocità iniziale; per questo motivo, non è visibile il vertice della parabola e la retta v(t) non passa per l'origine. Si può migliorare la visualizzazione della retta e della parabola spostando gli assi t ed s con il mouse.

Nota

I singoli valori della velocità v(i) si calcolano in questo modo:

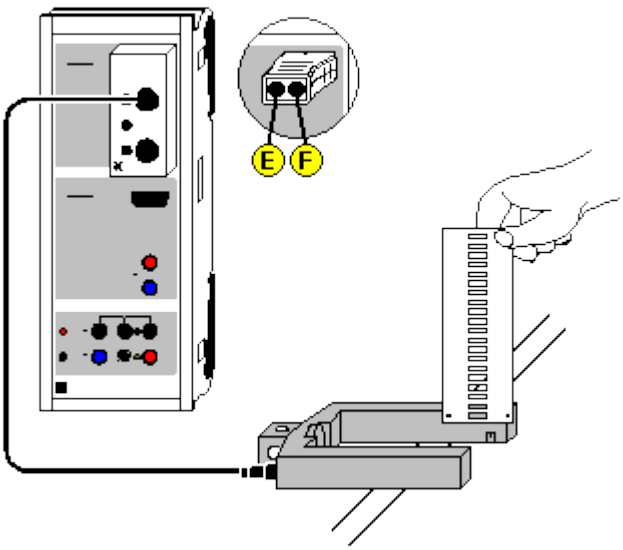
$v(i) = (s(i+1) – s(i-1)) / (t(i+1) – t(i-1))$

Ciascun valore rappresenta la velocità media nell'intervallo [t(i-1),t(i+1)] che corrisponde, approssimativamente, alla velocità nell'istante ½ (t(i-1) + t(i+1)) e non nell'istante t(i). Questo è anche valido per l'accelerazione:

$a(i) = (v(i+1) – v(i-1)) / (½ (t(i+2) – t(i-2)))$.

Di questo si è già tenuto conto nella visualizzazione di v(t) ed a(t) operando una opportuna conversione dell'asse dei tempi.

Caduta libera con scala-g (con modellizzazione)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Quando una scala a pioli cade attraverso una barriera luminosa, il software registra i tempi di oscuramento dei raggi di luce causati da tale attraversamento. La distanza tra i pioli sono in stretta relazione con le informazioni fornite dal diagramma s(t) che caratterizza la legge del moto della scala durante la caduta.

Ad integrazione del precedente esperimento, il moto viene ora misurato con il moto descritto dall'equazione

s'' = a = g.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Timer box o Timer S	524 034 o 524 074
1	Scala-g	529 034
1	Barriera luminosa	337 46
1	Cavo di collegamento, 6 poli	501 16
1	Serie di pesi, 50 g, opzionale	342 61
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Sospendere la scala-g sopra la barriera luminosa in modo che, durante la caduta, i pioli possano interrompere i raggi luminosi. La barriera luminosa è collegata a Sensor-CASSY attraverso l'ingresso E del timer-box.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

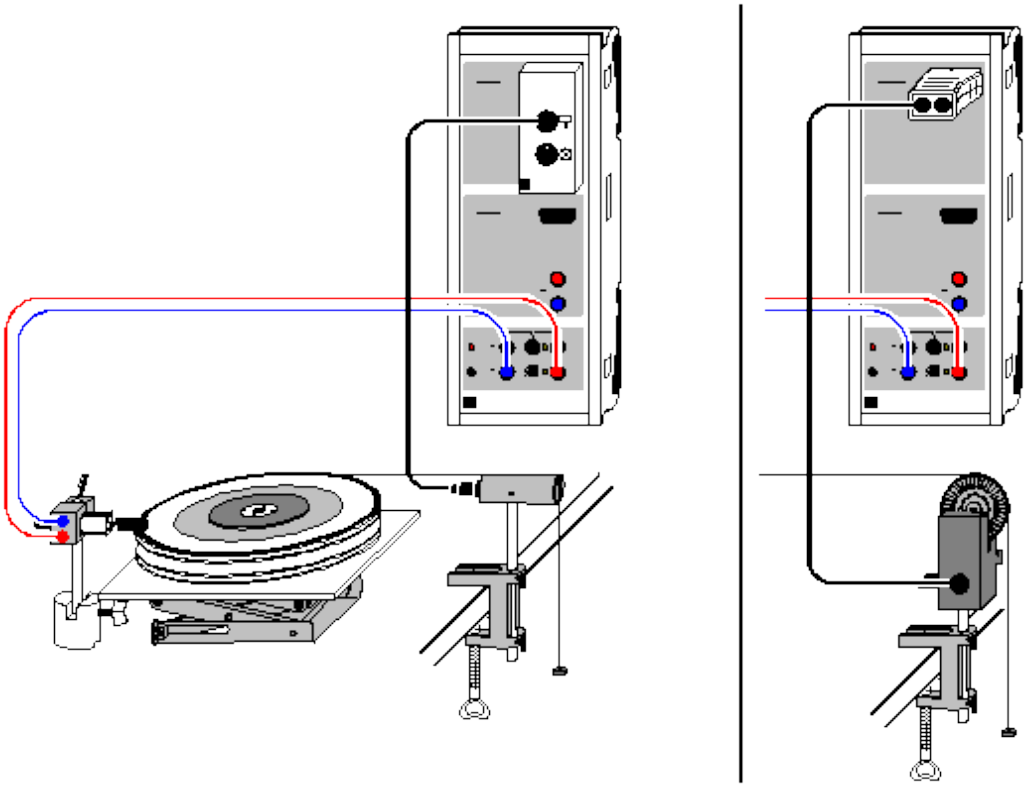
- Avviare la misura con **F9**.
- Lasciare cadere la scala in modo che tutti i suoi 21 pioli attraversino i raggi della barriera luminosa.
- La misura si arresta automaticamente dopo 0,2 secondi dall'istante in cui viene rilevato il passaggio del primo piolo, oppure dopo 21 pioli. Si possono cancellare dalla tabella i valori errati con **Cancella Ultima Serie di Misure** (cliccare sulla tabella con il pulsante destro del mouse).

- Utilizzando il tasto **F9**, si può ripetere la misura con masse ed altezze di caduta differenti.

Modellizzazione

In questo esempio, sono state scelte le due condizioni iniziali s(t=0)=0 e v(t=0)=v_0 e l'accelerazione g=9,81 m/s^2, per cui g e v_0 possono essere variate trascinando l'indice nel display del corrispondente strumento (o ciccando a sinistra o a destra dell'indice) fino a che il modello concorda con la misura.

Moto rotatorio (legge del moto di Newton)



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Un corpo ruotante con momento d'inerzia J di valore costante è accelerato da una coppia di momento variabile. Se si determina sperimentalmente l'accelerazione angolare α e si traccia il suo andamento in funzione della coppia M applicata, si trova che M è proporzionale ad α (dove J è il coefficiente di proporzionalità); in questo modo, si conferma la validità della legge del moto di Newton $M = J \cdot \alpha$.

Alternativamente, si può applicare una coppia M di valore costante e variare il momento d'inerzia J. In questo caso, si trova che J è proporzionale ad $1/\alpha$ (dove M è il coefficiente di proporzionalità).

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	BMW box	524 032
1	Trasduttore di spostamento	337 631
	o	
1	Timer S	524 074
1	Barriera luminosa combinata	337 462
1	Ruota a raggi combinata	337 464
1	Sistema ruotante	347 23
1	Cavo di collegamento, 6 poli	501 16
1	Magnete a ritenuta	336 21
1	Asta di sostegno, 25 cm	300 41
1	Zoccolo	300 11
1	Morsetto da tavolo, semplice	301 07
1	Laborboy II	300 76
1	Coppia di cavi, 1 m, rosso e blu	501 46
1	Graffetta a molla	
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Collegare il filo di trasmissione del moto alla bandierina del sistema ruotante (r = 10 cm) oppure ad una punta del disco supplementare (r = 5 cm, 2,5 cm); far ruotare il sistema sopra il trasduttore di spostamento collegato a Sensor-CASSY attraverso la boccola superiore del BMW box. Il magnete a ritenuta impedisce l'inizio della rotazione se si trova di fronte alla graffetta a molla attaccata alla bandierina del sistema ruotante.

La forza motrice viene fornita da tre pesi di 1 g ciascuno (F = 0,0294 N). La variazione della coppia, a momento d'inerzia costante, si ottiene utilizzando pulegge di raggio diverso (M = r·F = 2,94 mNm, 1,47 mNm, 0,73 mNm). Alternativamente, utilizzando i dischi supplementari, si può variare il momento d'inerzia e lasciare costante la coppia motrice.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Modificare il massimo angolo di rotolamento β_{A1} in Parametri di misura (aprire il dialogo con **F5**); valore corrente: **&bA1 < 6** corrispondente a 6 raggi, &b corrisponde al carattere β.
- Si può modificare l'intervallo di tempo (valore corrente 500 ms) in Parametri di misura (aprire questo dialogo con **F5**); un aumento dell'intervallo di tempo comporta un maggior numero di misure e quindi minore dispersione per l'andamento di $\alpha(t)$.
- Si può presentare la necessità di invertire il segno della rotazione (selezionare **s <—> -s** in Settaggi βA1).
- Liberare il disco ruotante dal magnete a ritenuta.
- Definire il raggio di rotolamento e l'origine del percorso (in Settaggi βA1)
- Avviare la misura con **F9** e, a fine esperimento, terminare sempre con **F9**. Si possono cancellare dalla tabella i valori errati con **Cancella Ultima Serie di Misure** (cliccare sulla tabella con il pulsante destro del mouse).
- Ripetere la misura con parametri differenti (valori diversi della coppia motrice o del momento d'inerzia). Assicurarsi di aver definito il raggio di rotolamento e l'origine del percorso.

Valutazione dei risultati

Oltre al diagramma $\beta(t)$, il software determina anche i diagrammi $\omega(t)$ ed $\alpha(t)$. I diagrammi si possono vedere cliccando semplicemente sulle rispettive intestazioni. Per fare le dovute valutazioni, sono disponibili le funzioni parabola, retta e calcolo del valor medio.

Per verificare la legge del moto di Newton, bisogna completare un'altra tabella già predisposta allo scopo. Dopo aver determinato un valore dell'accelerazione angolare come media dal diagramma $\alpha(t)$ oppure dalla pendenza del diagramma $\omega(t)$, si può usare il mouse per trascinare questo valore dalla linea di stato e incollarlo nella tabella (trascina & incolla). Mediante tastiera, inserire il momento M della coppia motrice o il momento d'inerzia; noti questi valori, si ottiene il diagramma cercato. Cliccando sugli assi con il pulsante destro del mouse, si può cambiare facilmente la grandezza riportata e modificare la scala (per es. α —> $1/\alpha$).

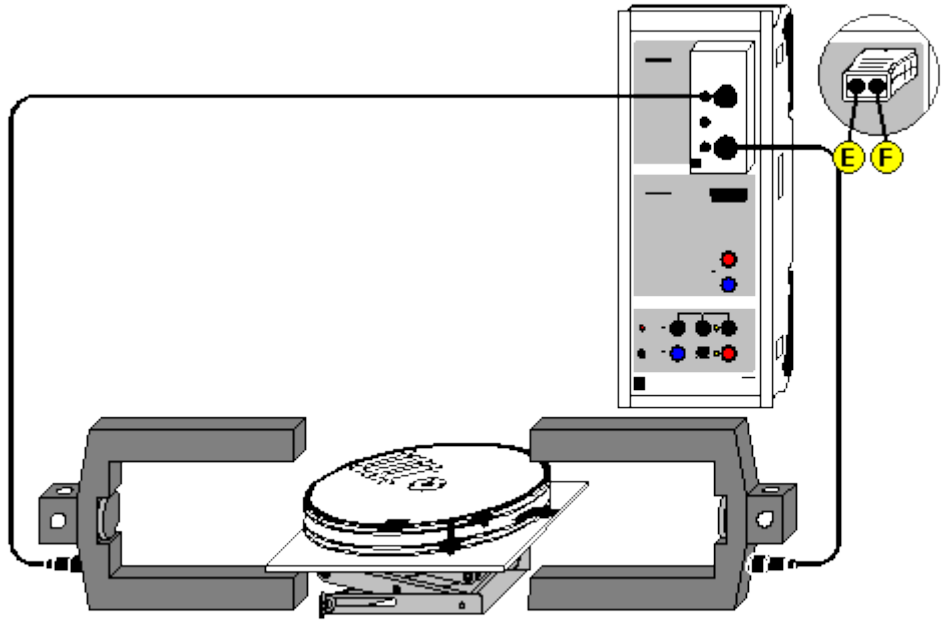
Come ulteriore valutazione, utilizzando formule, si può fare il confronto tra energia cinetica e lavoro. Nel moto rotatorio, l'energia cinetica è data da:

E = **0.5*J*&w^2** (inserire il valore numerico di J, &w corrisponde al carattere ω)

mentre il lavoro è dato da:

W = **M*&bA1** (inserire il valore numerico di M, &b corrisponde al carattere β).

Conservazione del momento angolare e dell'energia (urto torsionale)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Il sistema ruotante permette di misurare le velocità angolari ω di due corpi prima e dopo l'urto in base ai tempi di oscuramento di due barriere luminose. In questo modo, è possibile verificare la legge di conservazione del momento della quantità di moto (momento angolare) negli urti torsionali elastici ed anelastici e la conservazione dell'energia negli urti torsionali elastici.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Timer box o Timer S	524 034 o 524 074
1	Sistema ruotante	347 23
2	Barriere luminose	337 46
2	Cavi di collegamento, 6 poli	501 16
1	Laborboy II	300 76
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Prima di tutto, posizionare il sistema ruotante e le due barriere luminose (collegate agli ingressi E ed F del timer box) in modo che l'urto torsionale avvenga quando le bandierine del sistema ruotante si trovano **tra** le due barriere luminose. Le bandierine dei due corpi debbono interrompere le barriere luminose durante l'attraversamento.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Inserire i momenti d'inerzia J_1 e J_2 nella tabella (per inserire i dati da tastiera, attivare con il mouse le celle delle colonne J_1 e J_2).
- Prima dell'urto, posizionare le bandierine correttamente rispetto alle barriere luminose E ed F (Settaggi ω1, ω2, ω1´ o ω2´). Si hanno quattro diverse situazioni:
  Le due bandierine all'esterno delle barriere luminose.
  Bandierina sinistra tra le due barriere luminose, bandierina di destra all'esterno

Bandierina di destra tra le due barriere luminose, bandierina di sinistra all'esterno
Le due bandierine all'interno delle barriere luminose (esplosione).

- Inserire la larghezza delle bandierine ed i raggi (sempre in Settaggi ω1, ω2, ω1´ o ω2´).
- Dare inizio agli urti (se le velocità angolari compaiono prima degli urti, bisogna cancellare questi valori con **—> 0 <—**) e fare attenzione che le barriere luminose non ricevano impulsi accidentali (per es. quelli dovuti alla riflessione dei corpi ruotanti).
- Terminare la misura con **Fine degli Urti** (la misura termina automaticamente dopo la misura delle quattro velocità angolari).
- Trasferire i risultati nella tabella con **F9** e fare le valutazioni oppure passare alla misura successiva con **—> 0 <—**.

Valutazione dei risultati

Le tabelle sono già predisposte per inserire il momento della quantità di moto prima e dopo l'urto, il momento totale della quantità di moto, l'energia, l'energia totale e la perdita di energia; per trasferire nelle tabelle i risultati delle misure, usare il tasto **F9**. I valori si visualizzano cliccando sulle intestazioni della tabella. Per visualizzare tali grandezze subito dopo l'urto, aprire lo strumento corrispondente.

È possibile definire formule addizionali per confrontare i risultati ottenuti con la teoria. Per l'urto torsionale elastico, si ha:

&w1´ = (2*J2*&w2 + (J1-J2)*&w1) / (J1+J2)
&w2´ = (2*J1*&w1 + (J2-J1)*&w2) / (J1+J2)

Per l'urto torsionale anelastico, si ha:

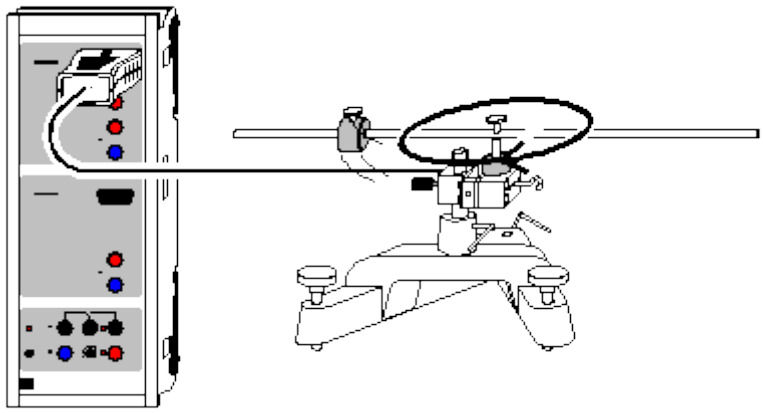
&w1´ = &w2´ = (J1*&w1 + J2*&w2) / (J1+J2).

In tutte le formule, per rappresentare (e generare) le lettera greca ω, si ricorre ai caratteri & e w.

Tabella di conversione delle unità di misura in unità SI

Grandezza	Unità SI =	Fattore	· Unità specificata
Momento di inerzia J	$kg \cdot m^2$	1000	$g \cdot m^2$
Velocità angolare ω	rad/s	1	rad/s
Mom. della q. di moto L	$N \cdot s \cdot m = kg \cdot m^2/s$	1000	mJ·s
Energia E	$J = kg \cdot m^2/s^2$	1000	mJ

Forza centrifuga (braccio rotante per forza centrifuga)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

La forza centrifuga F che agisce su una massa rotante m è definita da $F = m \cdot \omega^2 \cdot r$ (ω: velocità angolare, r: distanza del centro di massa dall'asse di rotazione). Questa legge è confermata dalla variazione dei tre parametri m, ω e r.

La forza centrifuga F può essere misurata con il sensore di forza S, ±50 N. Poichè il sensore misura quasi esclusivamente forze in una direzione, il risultato è una forma sinusoidale della forza, con i minimi ed i massimi che corrispondono alla forza centrifuga radiale.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Sensore di forza S, ±50 N	524 042
1	Braccio rotante per forza centrifuga	347 211
1	Base di sostegno , a V, 28 cm	300 01
1	Asta di sostegno, 10 cm	300 40
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Usare l'asta di sostegno per montare orizzontalmente il sensore di forza più vicino possibile alla base di sostegno. Stringere fortemente le viti! Quindi porre orizzontalmente la base, agendo sulle viti di livello in modo che il braccio rotante per la forza centrifuga oscilli il meno possibile e ruoti con velocità costante anche a bassa frequenza angolare.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Avvitare I pesi ad una certa distanza (r è determinata fra l'asse di rotazione e il centro del peso) sul braccio rotante per forza centrifuga.
- Azzerare il sensore di forza con **—> 0 <—** in Settaggio Forza FA1.
- Mettere in rotazione il braccio rotante dando una spinta vicino all'asse di rotazione. Quando viene rilevata una forza di circa 5 N, avviare la registrazione dei dati con **F9**. Ripetere la misura ogni 5 o 10 s fino a quando la forza misurata ha raggiunto circa 1 N. Si ottiene una serie di curve sinusoidali con decremento delle ampiezze ed incremento dei periodi. Nell'esempio il trigger è regolato in modo da far partire tutte le curve nell'origine degli assi.

Valutazione dei risultati

Determinare il periodo T e la forza minima e massima F_{min} e F_{max} del primo periodo per ciascuna curva sinusoidale cliccando con il mouse e leggendo i valori in tabella. Trasferire questi valori nel display

Input (clic del mouse). Se ci sono imprecisioni nel montaggio o nell'azzeramento del sensore di forza, queste si possono compensare prendendo in esame F_{min} e F_{max}.

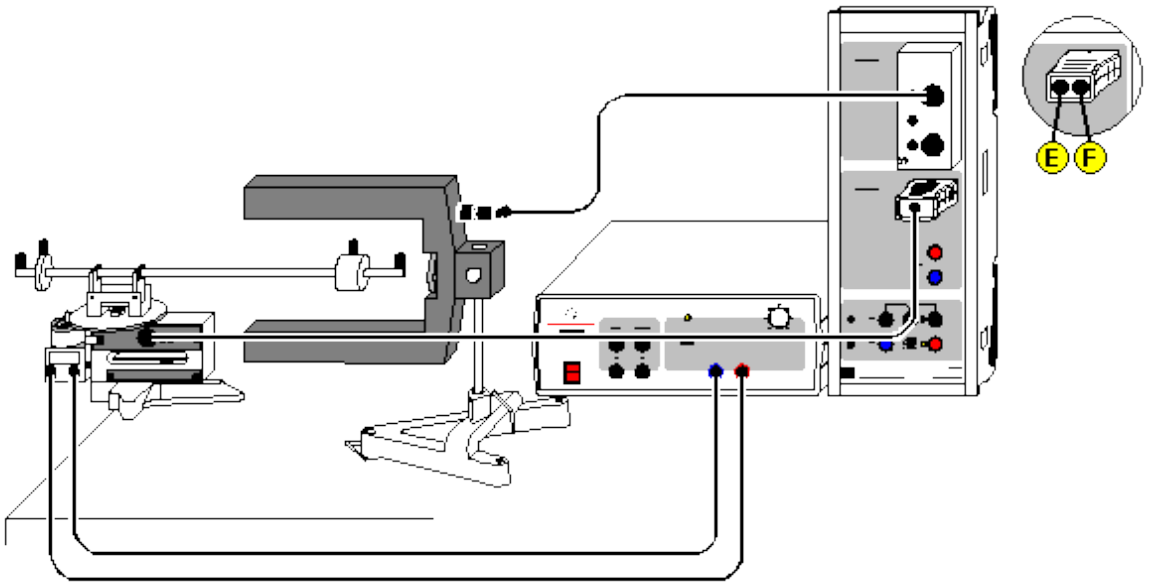
Nel display **Forza centrifuga**, il risultato di questa valutazione viene tracciato automaticamente. La forza centrifuga $F = (F_{max}-F_{min})/2$ mostrata nel diagramma e la velocità angolare $\omega=2\pi/T$ sono calcolate dai valori di ingresso. La proporzionalità $F \sim \omega^2$ è chiaramente visibile.

Per confermare le proporzionalità F ~ m e F ~ r, le misure devono essere ripetute con altri pesi e raggi e quindi valutate tutte assieme.E' consigliabile valutare ciascuna misura singolarmente e memorizzarla in un file separato, poiché misure diverse creano confusione per una valutazione in una rappresentazione grafica. In seguito le diverse misure valutate possono essere caricate in una visualizzazione comune.

Nota

Poichè l'esperimento deve essere ripetuto con masse m e raggi r diversi per una valutazione completa, la valutazione manuale diventa molto noiosa. Comunque, il periodo T e le due forze F_{min} e F_{max} si possono determinare automaticamente. Per questo I display degli strumenti T', F'_{min}, e F'_{max} nella linea superiore devono essere aperti. Immediatamente dopo una singola misura, I valori qui calcolati possono essere trasferiti nel display di **Input** con il mouse (trascina & incolla). Finchè il braccio rotante ruota e la forza misurata è maggiore di 1 N, questa procedura può essere ripetuta per velocità angolari ω decrescenti in brevi intervalli.

Forza centrifuga (apparecchio per la forza centrifuga)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

L'apparecchio per la forza centrifuga permette lo studio della forza centrifuga F in funzione della massa rotante m, della distanza r della massa dal centro di rotazione e della velocità angolare ω, questo rende possibile la verifica della relazione $F = m \cdot \omega^2 \cdot r$ per la forza centrifuga.

Nell'apparecchio per la forza centrifuga, la forza F che agisce sulla massa rotante m è trasmessa attraverso una leva con giunzione sfera e spina ed una spina nell'asse di rotazione per una molla a lamina, dove la deflessione è misurata elettricamente per mezzo di un ponte estensimetrico. Nel campo di misura rilevante per l'esperimento, la deformazione della molla a lamina è elastica e quindi proporzionale alla forza F.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Timer box o Timer S	524 034 o 524 074
1	Apparecchio per forza centrifuga S	524 068
1	Alimentatore	521 49
1	Barriera luminosa	337 46
1	Cavo, 6-poli	501 16
1	Morsa da banco	301 06
1	Base di sostegno, a V, 20 cm	300 02
1	Asta di sostegno, 10 cm	300 40
1	Coppia di cavi, 50 cm, rosso e blu	501 45
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Se è disponibile un apparecchio per la forza centrifuga (347 21), può essere aggiornato con l'adattatore per forza centrifuga (524 0681). L'uso e i risultati di misura di questa combinazione non differiscono da quelli dell'apparecchio S per la forza centrifuga (524 068). Prima di utilizzare l'apparecchio per la forza centrifuga (347 21) con l'adattatore per la forza centrifuga (524 0681) per la prima volta, è necessario riadattare lo zero ed il guadagno dell'apparecchio per la forza centrifuga secondo le indicazioni della scheda d'uso dell'adattatore per la forza centrifuga.

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Usare la morsa da tavolo per fissare al banco l'apparecchio per la forza centrifuga. La barriera luminosa è montata per mezzo dell'asta di sostegno e della base di sostegno in modo che il braccio rotante può ruotare liberamente fra i rebbi della barriera luminosa, evitando che il peso interrompa il raggio luminoso. L'apparecchio per la forza centrifuga è collegato all'ingresso B e la barriera luminosa mediante il box timer all'ingresso A del Sensor-CASSY. L'alimentatore è collegato al motore di azionamento dell'apparecchio per la forza centrifuga mediante due cavi di collegamento. La tensione massima del motore di azionamento deve essere selezionata in modo che il campo di misura della forza non superi i 15 N.

Esecuzione dell'esperimento

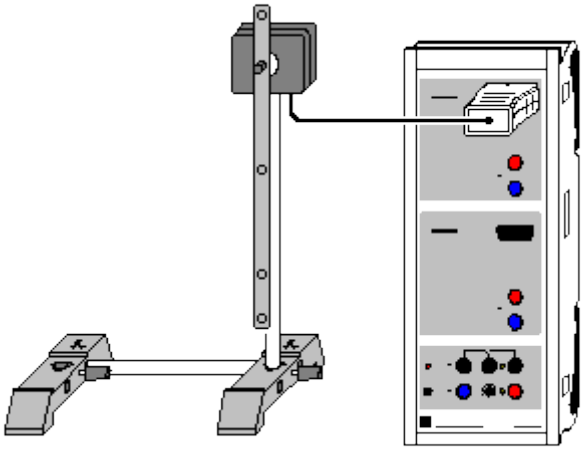
- Carica settaggi
- Azzerare la visualizzazione della forza con il braccio rotante fermo. Per questo settare l'apparecchio per la forza centrifuga a **—> 0 <—** in settaggio Forza FB1 (pulsante destro del mouse).
- Regolare il peso di compensazione sul braccio corto dell'apparecchio in modo che non ci sia misura della forza F senza la massa aggiuntiva m ma con la vite di sicurezza.
- Avviando con basse velocità angolari ω, memorizzare manualmente la forza misurata con **F9** nella tabella.
- Ripetere la misura con velocità angolari ω maggiori.
- Terminata una serie di misure, ripetere le misure con altre masse m (r=costante) o raggi r (m = costante). Per questo selezionare **Aggiungi nuova serie di misure** in **Parametri di misura** (**F5**) e riavviare a basse velocità angolari.

Valutazione dei risultati

Ogni singola serie di misure conferma immediatamente la proporzionalità fra la forza F e ω^2 con una linea retta di fit. Se si vogliono confermare le altre due proporzionalità fra F e m (ω,r constanti) e fra F e r (ω,m constanti), le forze F devono essere determinate con velocità angolari ω costanti. Per questo, tracciare una linea verticale in un valore di ω^2 nel diagramma e leggere le coordinate delle intersezioni con la linea F(ω^2) (seleziona visualizza coordinate). Inserire queste coordinate manualmente nel secondo display preparato F(m) o F(r) (clicca il campo nella tabella con il mouse). Là eventualmente si evidenzia la proporzionalità desiderata.

$F = m \cdot \omega^2 \cdot r$ è confermata dalla determinazione dei fattori di proporzionalità.

Oscillazioni di un pendolo ad asta



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

L'equazione del moto di un pendolo fisico con momento d'inerzia J, massa m e distanza s fra fulcro e centro di gravità

$M = J \cdot \alpha'' = -m \cdot g \cdot s \cdot \sin \alpha$

descrive per piccole deviazioni ($\sin \alpha \approx \alpha$) una oscillazione armonica con periodo di oscillazione

$T = 2\pi \cdot \mathrm{sqrt}(J/mgs)$.

Per una migliore comprensione, viene introdotta la lunghezza del pendolo ridotto $l_r = J/ms$. Allora il periodo di oscillazione è

$T = 2\pi \cdot \mathrm{sqrt}(l_r/g)$.

Per i pendoli matematici, l'intera massa del pendolo è concentrata in un singolo punto. Si ha quindi il momento di inerzia $J = ms^2$ e la lunghezza del pendolo ridotto è $l_r = J/ms = s$, che è equivalente alla distanza fra la massa del pendolo (centro di gravità) e il fulcro.

Un pendolo fisico con la lunghezza del pendolo ridotto l_r corrisponde a un pendolo matematico di questa lunghezza.

In questo esperimento la lunghezza del pendolo ridotto è determinata dal periodo di oscillazione misurato e confrontato con la lunghezza del pendolo ridotto.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Sensore di moto rotatorio S	524 082
1	Pendolo fisico	346 20
1	Asta di sostegno, 25 cm, d = 10 mm	301 26
2	Basi di sostegno MF	301 21
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Il pendolo è avvitato sull'asse del sensore di moto rotatorio.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Definire il punto zero nella posizione di equilibrio del pendolo (**—> 0 <—** in Settaggi αA1)
- Deviare il pendolo solo di circa 5° e rilasciarlo

- Avviare la misura con **F9**. La misura verrà fermata automaticamente dopo 10 s
- Ripetere la misura senza la massa o usando un'altra massa

Valutazione

Dopo diverse oscillazioni, la loro durata può essere determinata per mezzo di una linea verticale e da questa il periodo di oscillazione. Nell'esempio il risultato è T = 0,840 s. Con g = 9,81 m/s^2 questo risulta nel pendolo ridotto di lunghezza $l_r = g \cdot T^2/4\pi^2$ = 17,5 cm.

Questo corrisponde bene alla lunghezza l_r dell'asta del pendolo calcolata (usando una approssimazione). Il momento d'inerzia dell'asta per la rotazione attraverso il centro di gravità è $J_S = 1/12 \cdot ml^2$. L'asse di rotazione di questo pendolo, comunque,è spostato dal centro di gravità di s = 1/3·l. Secondo il teorema di Steiner questo dà $J = J_S + ms^2 = 7/36\ ml^2$ e $l_r = 7/36 \cdot ml^2 / ms = 7/12 \cdot l$ = 17,5 cm (per l = 30 cm).

Al contrario , dalla lunghezza del pendolo ridotto calcolata e dal periodo di oscillazione misurato l'accelerazione terrestre dovuta alla gravità può anche essere calcolata con $g = l_r \cdot 4\pi^2/T^2$.

Determinazione sperimentale della lunghezza del pendolo ridotto

Se la massa m_2 viene spostata sull'asta del pendolo fino a che il periodo di oscillazione T confrontato con l'asta senza masse aggiunte è invariato, allora anche la lunghezza l_r del pendolo ridotto sarà invariata. La posizione x quando viene trovata la massa (punto) aumenta il momento d'inerzia del pendolo di $J_2 = m_2 \cdot x^2$. Poiché la lunghezza l_r del pendolo ridotto non è cambiata, si applica la seguente relazione

$l_r = J/ms = (J + J_2)/(m + m_2)/s'$

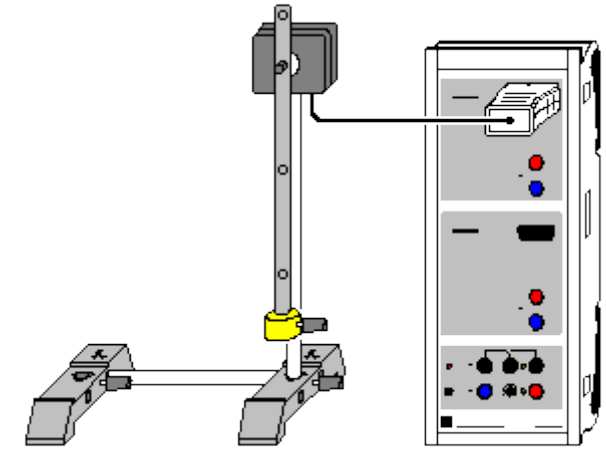
con s' che è la distanza fra il nuovo centro di gravità e il fulcro, perciò $s' = (m \cdot s + m_2 \cdot x)/(m + m_2)$. Da questo si ha

$J/ms = (J + m_2 \cdot x^2)/(m \cdot s + m_2 \cdot x) = J/ms \cdot (1 + m_2 \cdot x^2/J)/(1 + m_2 \cdot x/ms)$ o $m_2 \cdot x^2/J = m_2 \cdot x/ms$, quindi

$x = J/ms = l_r$.

La massa (punto) è allora esattamente posizionata nella lunghezza del pendolo ridotto. Ma, poiché in realtà ha una dimensione finita, questa è solo una approssimazione.

Oscillazioni di un pendolo ad asta (con massa aggiuntiva)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Le oscillazioni di un pendolo fisico ad asta sono registrate in funzione del tempo t. Per la valutazione, l'angolo α, la velocità ω e l'accelerazione a sono confrontate l'un l'altro. C'è una scelta della loro visualizzazione in funzione del tempo t o in forma di un diagramma di fase.

In aggiunta, la lunghezza di un pendolo ridotto l_r = J/ms è determinata dal periodo di oscillazione misurato $T = 2\pi \cdot \mathrm{sqrt}(l_r/g)$.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Sensore di moto rotatorio S	524 082
1	Pendolo fisico	346 20
1	Asta di sostegno, 25 cm, d = 10 mm	301 26
2	Basi di sostegno MF	301 21
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Il pendolo è avvitato sull'asse del sensore di moto rotatorio e il peso è fissato al terminale più basso del pendolo.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Definire il punto zero nella posizione di equilibrio del pendolo (**—> 0 <—** in Settaggi αA1)
- Deviare il pendolo di circa 20° e rilasciarlo
- Avviare la misura con **F9**. La misura verrà fermata dopo 10 s
- Ripetere la misura senza la massa o con l'aggiunta di un'altra massa

Valutazione

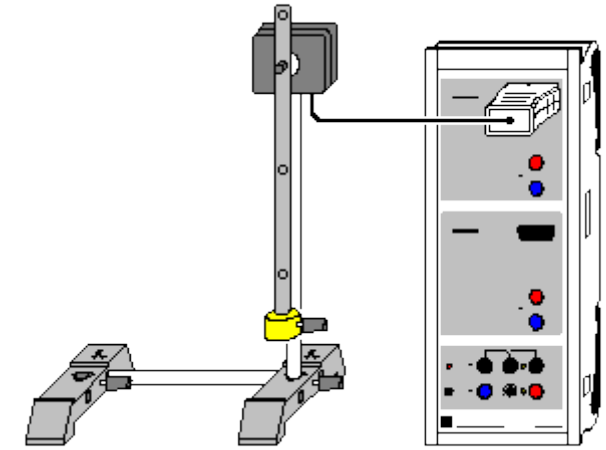
In aggiunta aggiunta al diagramma angolare, sono già stati preparati un diagramma con veduta d'assieme con α(t), ω(t) e a(t) e un diagramma di fase $\omega(\alpha)$. i diversi diagrammi possono essere selezionati ciccando su di loro.

Dopo diverse oscillazioni la loro durata può essere determinata per mezzo di una linea verticale e da questa il periodo di oscillazione. Nell'esempio il risultato è T = 0,96 s. Con g = 9,81 m/s^2, questo risulta nel pendolo ridotto di lunghezza $l_r = g \cdot T^2/4\pi^2$ = 22,9 cm. Questo è un pò meno della distanza fra il peso e il fulcro (25 cm).

Commento

Le curve tracciate in modo marcato dipendono dall'Intervallo di tempo selezionato. L'intervallo di tempo può solo essere un compromesso fra una rapida sequenza di misura, $\alpha(t)$ minima e massima chiaramente contrassegnata (breve intervallo di tempo) e bassi errori nel diagramma $\omega(t)$ e a(t) (intervallo di tempo più lungo).

Oscillazioni di un pendolo ad asta (con modellizzazione)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Si eccita un pendolo ad asta e si registrano le sue oscillazioni libere. In aggiunta ad uno studio delle oscillazioni di un pendolo ad asta puramente basate su misure, l'oscillazione misurata viene confrontata con l'oscillazione $\alpha(t)$ che risulta dall'equazione del moto

$M = J \cdot \alpha'' = -m \cdot g \cdot s \cdot \sin \alpha$

Con momento d'inerzia J, massa m e la distanza s fra il fulcro ed il centro di gravità. L'equazione richiesta per la modellizzazione

$\alpha'' = a = -m \cdot g \cdot s \cdot \sin \alpha / J = g/l_r \cdot \sin \alpha$

con il pendolo ridotto di lunghezza $l_r = J/ms$.

Per piccoli angoli α, sin α è usualmente approssimato ad α e allora l'equazione può essere risolta analiticamente. In questo esempio, questa approssimazione non è richiesta, poichè la soluzione viene trovata numericamente.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Sensore di moto rotatorio S	524 082
1	Pendolo Fisico	346 20
1	Asta di sostegno, 25 cm, d = 10 mm	301 26
2	Basi di sostegno MF	301 21
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Il pendolo è avvitato sull'asse del sensore di moto rotatorio e il peso è fissato al terminale più basso del pendolo.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Definire il punto zero nella posizione di equilibrio (**—> 0 <—** in Settaggi αA1)
- Deviare il pendolo di circa 20° (questo corrisponde ad un angolo di circa 0,35 rad) e rilasciarlo
- Avviare la misura con **F9**. La misura si fermerà dopo 10 s.

Modellizzazione

Nel presente esempio, sono selezionate le due condizioni di avvio $\alpha(t=0)=0$ e $\omega(t=0)=\omega_0$ poichè le oscillazioni iniziano nell'origine mediante il trigger. La velocità di avvio ω_0 e la lunghezza del pendolo ridotto lr possono essere modificati trascinando l'indice del display dello strumento corrispondente (o cliccando sul pulsante sinistro o dopo aver ciccato sul pulsante destro) fino a che il Modello corrisponde alla misura.

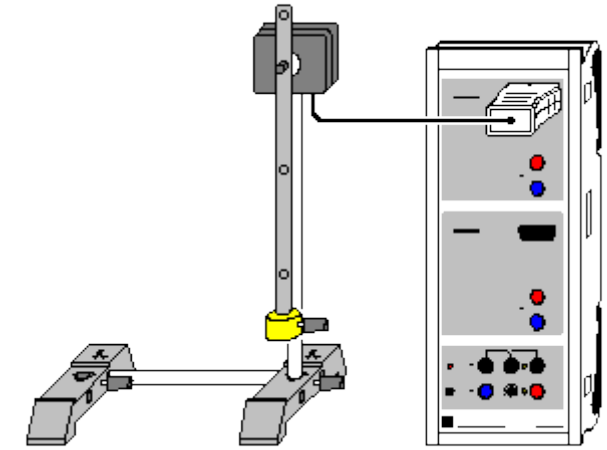
Per conferma del modello, il peso può essere mosso in una diversa posizione e l'esperimento ripetuto. La nuova oscillazione misurata corrisponderà ancora al modello matematico.

Influenza dell'approssimazione sin $\alpha \approx \alpha$

E' molto impressionante osservare l'influenza dell'approssimazione comunemente usata in altro modo per piccole deflessioni (sin $\alpha \approx \alpha$). Per questo l'equazione del modello può essere ridotta da –9,81/lr*rsin &a a –9,81/lr*&a. Il cambiamento del periodo per l'influenza dell'approssimazione è già chiaramente evidente per una deflessione di 20°.

Nel seguente Esempio questa influenza viene studiata con più dettaglio.

Dipendenza del periodo dell'oscillazione dall'ampiezza



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Viene registrato il periodo T che dipende dall'ampiezza dell'oscillazione. Per questo il pendolo è attivato una volta all'inizio e l'ampiezza ed il periodo vengono registrati continuamente. Per il basso attrito, l'ampiezza si riduce lentamente. Questo risulta gradualmente in una piccola riduzione del periodo di oscillazione.

L'equazione del moto per un pendolo fisico con momento d'inerzia J, massa m e distanza s fra il fulcro e il centro di gravità.

$M = J \cdot \alpha'' = -m \cdot g \cdot s \cdot \sin \alpha$

Descrive per piccole deviazioni ($\sin \alpha \approx \alpha$) una oscillazione armonica con periodo

$T = 2\pi \cdot \mathrm{sqrt}(l_r/g)$,

Con la lunghezza del pendolo ridotto che è $l_r = J/ms$. Senza questa approssimazione, in generale si applica la seguente relazione

$T = 2\pi \cdot \mathrm{sqrt}(l_r/g) \cdot (1 + (1/2)^2 \cdot (\sin(\alpha/2)^2 + (3/4)^2 \cdot (\sin(\alpha/2)^4 + (5/6)^2 \cdot (\sin(\alpha/2)^6 + \ldots))))$.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Sensore di moto rotatorio S	524 082
1	Pendolo fisico	346 20
1	Asta di sostegno, 25 cm, d = 10 mm	301 26
2	Basi di sostegno MF	301 21
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Il pendolo è avvitato sull'asse del sensore di moto rotatorio e il peso è fissato al terminale più basso del pendolo.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Deviare il pendolo di circa 30° e rilasciarlo
- Una volta che il valore visualizzato per il periodo di oscillazione T_{A1} diventa costante, avviare la misura con **F9**
- Se dopo poco non compaiono punti di misura, cliccare sull'asse y con il pulsante destro del mouse e selezionare **Trova minimo e massimo.**

- Fermare la misura con **F9** appena l'ampiezza scende sotto i 5°. Al di sotto di questo valore il periodo di oscillazione diventa inattendibile.

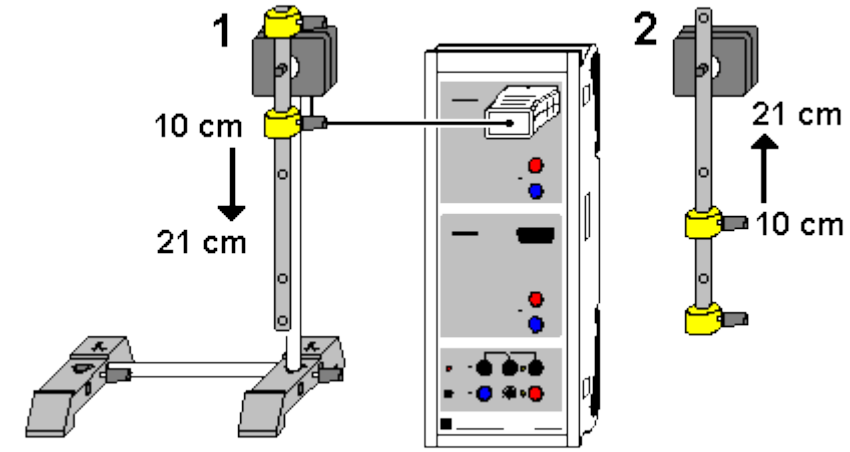
Valutazione

Durante la misura, l'ampiezza diminuisce lentamente. Questo provoca una minore riduzione nel periodo di oscillazione. Il collegamento teorico fra ampiezza e periodo è

$T = T_0 \cdot (1 + (1/2)^2 \cdot (\sin(\alpha/2)^2 + (3/4)^2 \cdot (\sin(\alpha/2)^4 + (5/6)^2 \cdot (\sin(\alpha/2)^6 + \ldots))))$

e può essere facilmente confermato eseguendo un fit libero.

Determinazione dell'accelerazione dovuta alla gravità della terra con un pendolo reversibile



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Per un pendolo fisico con piccole deviazioni, il periodo di oscillazione è dato da

$T = 2\pi \cdot \mathrm{sqrt}(l_r/g)$

dove la lunghezza del pendolo ridotto è $l_r = J/ms$. Se sono conosciuti la lunghezza del pendolo ridotto l_r e il periodo di oscillazione T, questo si può utilizzare per calcolare l'accelerazione dovuta alla gravità della terra $g = l_r \cdot 4\pi^2/T^2$.

Spesso la lunghezza del pendolo ridotto non può essere determinata con la precisione desiderata se sono difficili la determinazione precisa del momento d'inerzia o del centro di gravità. Con il pendolo reversibile, la distribuzione della massa è modificata in modo che il periodo di oscillazione è identico per entrambi gli assi di rotazione. Da questo si può concludere che la lunghezza del pendolo ridotto l_r corrisponde alla distanza fra i due assi e quindi è conosciuto con un alto grado di precisione.

Secondo il teorema di Steiner, $J = J_S + ms^2$ dove J_S è il momento d'inerzia del pendolo rispetto all'asse del centro di gravità e s è la distanza fra centro di gravità e assi di rotazione. La Lunghezza del pendolo ridotto è quindi

$l_r = J/ms = J_S/ms + s.$

Il secondo asse di rotazione è ora posizionato sull'altro lato del centro di gravità, con lo stesso periodo di oscillazione e la stessa lunghezza del pendolo ridotto, è a una distanza x dal centro di gravità. In questo caso

$l_r = J_S/mx + x.$

Se l'equazione è riordinata dà il valore per x, $x = l_r - s$. La distanza fra i due assi di rotazione s+x corrisponde quindi precisamente alla lunghezza del pendolo ridotto l_r.

Poichè il periodo di oscillazione T può essere determinato con esattezza, il pendolo reversibile è molto adatto per la determinazione del valore dell'accelerazione g.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Sensore di moto rotatorio S	524 082
1	Pendolo fisico	346 20
1	Asta di sostegno, 25 cm, d = 10 mm	301 26
2	Basi di sostegno MF	301 21

1 PC con Windows 98/2000/XP/Vista

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Il pendolo è avvitato sull'asse del sensore di moto rotatorio e la massa è fissato al pendolo come mostrato in (1).

L'asta del pendolo viene segnata all'inizio dall'alto in passi di 1 cm con una matita. E' sufficiente per questo un campo da 10 cm a circa 21 cm.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Fissare la massa al pendolo variabile nella posizione x = 10 cm e deviarlo di circa 10°.
- Una volta che il valore visualizzato per il periodo di oscillazione T_{A1} diventa costante e l'ampiezza α_{A1} è scesa a circa 5°, registrare il valore misurato con **F9** e inserire la posizione nella colonna x (ciccare nella cella della tabella con il mouse)
- Spostare in basso la massa del pendolo di 1 cm e misurare di nuovo. Ripetere fino a quando si raggiunge x = 21 cm.
- Riportare la massa a x = 10 cm e cambiare il punto di sospensione del pendolo come mostrato in (2); invertire il pendolo
- Nella finestra visualizza parametri di misura selezionare **Aggiungi nuova serie di misure**
- Deviare di nuovo il pendolo di circa 10° e attendere fino a quando il valore visualizzato per il periodo di oscillazione T_{A1} diventa costante e l'ampiezza α_{A1} scende a circa 5°, registrare il valore di misura con **F9** e inserire la posizione nella colonna x (ciccare nella cella in tabella con il mouse)
- Spostare la massa del pendolo di 1 cm **verso l'alto** e misurare di nuovo. Ripetere fino a raggiungere x = 21 cm.

Valutazione

Nella visualizzazione grafica, si possono vedere due intersezioni delle curve del periodo di oscillazione. In entrambe le intersezioni del periodo di oscillazione e quindi la lunghezza del pendolo ridotto sono uguali. Corrisponde allo spostamento dei due assi di rotazione, che è l_r = 0,20 m.

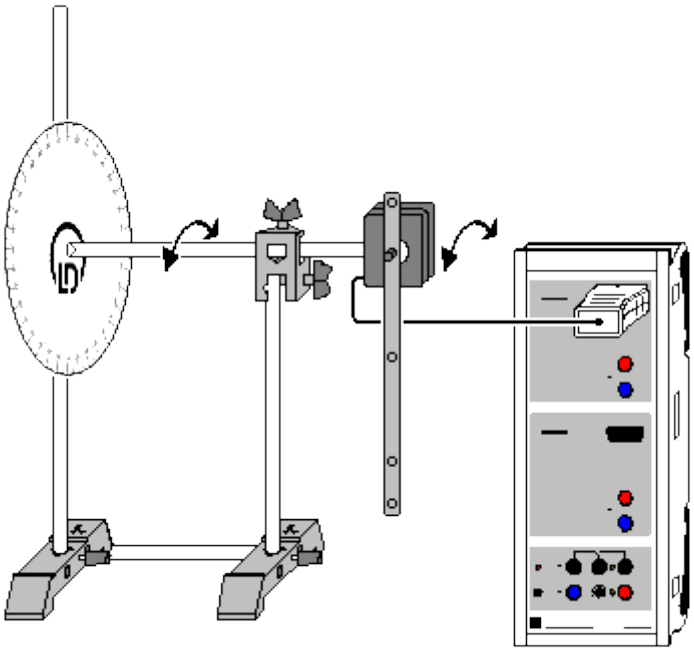
Mediante una linea orizzontale può essere determinato il corrispondente periodo. Nell'esempio è T = 0,898 s. Da questo risulta un'accelerazione terrestre dovuta alla gravità di $g = l_r \cdot 4\pi^2/T^2 = 7{,}896\ m/T^2 = 9{,}79\ m/s^2$.

In alternative, l'accelerazione terrestre dovuta alla gravità può essere trovata con una maggiore risoluzione nel diagramma **g**.

Commenti sull'errore di misura

In aggiunta all'errore di costruzione dell'asta, che comparirà come errore nella lunghezza del pendolo ridotto l_r (circa $\Delta l_r = \pm 0{,}1$ mm, che è $\Delta g = \pm 0{,}005\ m/s^2$), si deve considerare un errore nel periodo di oscillazione T. Inoltre c'è anche come errore sistematico il semplice errore di misura (in questo caso circa $\Delta T = \pm 0{,}001 \cdot T$, corrispondente a $\Delta g = \pm 0{,}02\ m/s^2$). Come già dimostrato nell'esperimento Dipendenza del periodo di oscillazione dall'ampiezza, il periodo di oscillazione mostra una debole dipendenza dall'ampiezza. Per l'ampiezza di 5° questo errore sistematico è $\Delta T = +0{,}0005 \cdot T$, corrispondente a $\Delta g = -0{,}01\ m/s^2$. Con ampiezze più piccole la determinazione del periodo di oscillazione per mezzo del sensore di moto rotatorio diventa inattendibile. Per ampiezze più grandi, questo errore sistematico supererà di poco il normale errore di misura (per ampiezza di 10° è $\Delta T = +0{,}002 \cdot T$, corrispondente a $\Delta g = -0{,}04\ m/s^2$)

Pendolo con accelerazioni dovute alla gravità cambiabili (pendolo per g variabile)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Con un pendolo per g variabile (pendolo secondo Mach) solo la componente g·cos ϑ dell'accelerazione gravitazionale terrestre agisce sul pendolo. In funzione dell'inclinazione ϑ, risultano differenti periodi di oscillazione:

$T = 2\pi \cdot \mathrm{sqrt}(l_r/g/\cos \vartheta)$

Con la lunghezza del pendolo ridotto l_r = J/ms.

Nell'esperimento il periodo di oscillazione è studiato in funzione dell'angolo di inclinazione. In alternativa, può essere determinata l'accelerazione dovuta alla gravità di un certo numero di corpi celesti simulati. La lunghezza del pendolo ridotto l_r = 17,5 cm è stata calcolata nell'esperimento Oscillazioni di un pendolo ad asta e confermata sperimentalmente. La componente efficace dell'accelerazione dovuta alla gravita è quindi $a = g \cdot \cos \vartheta = l_r \cdot 4\pi^2/T^2 = 6{,}91\ m/T^2$.

Sulla scala stampabile con gli angoli sono già inseriti i settagli per

Corpo celeste	ϑ	g·cos ϑ
Terra (posto di riferimento)	0°	9,81 m/s^2
Venere	25,3°	8,87 m/s^2
Marte	67,8°	3,71 m/s^2
Mercurio	67,8°	3,70 m/s^2
Luna	80,5°	1,62 m/s^2
Plutone	86,6°	0,58 m/s^2

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Sensore di moto rotatorio S	524 082
1	Pendolo fisico	346 20

1	Scala con angoli con corpi celesti inseriti	stampare
1	Morsetto Leybold	301 01
2	Aste si sostegno, 25 cm, d = 10 mm	301 26
1	Asta di sostegno, 50 cm, d = 10 mm	301 27
2	Basi di sostegno MF	301 21
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Il pendolo è avvitato sull'asse del sensore di moto rotatorio. La scala è applicata sull'asta di sostegno del sensore di moto rotatorio. Fare questo dopo aver tagliato la scala come indicato.

Esecuzione dell'esperimento

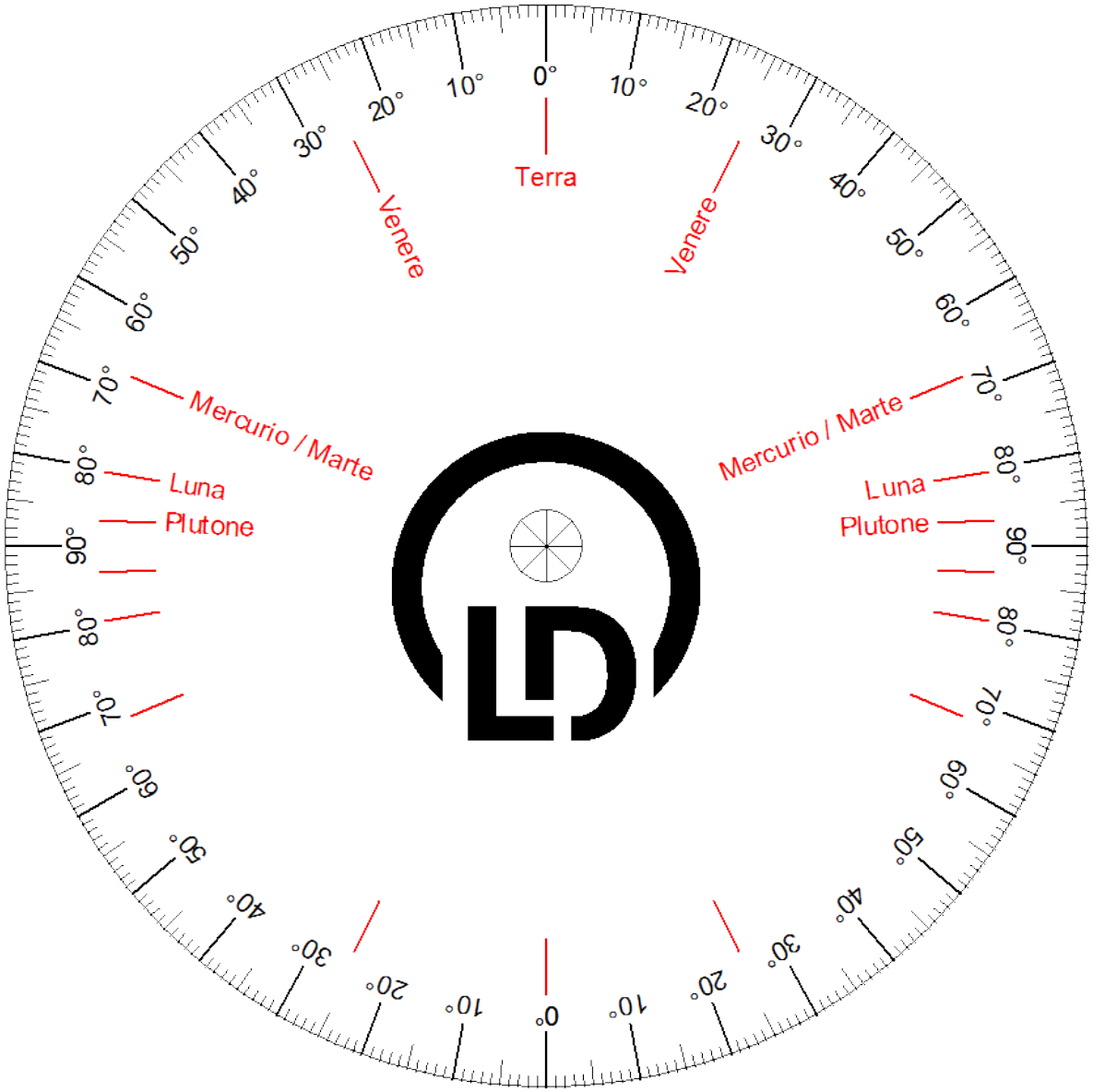
- Carica settaggi
- Montare il pendolo verticalmente (ϑ = 0°), allineare il montaggio sperimentale e deviare il pendolo di circa 10°
- Una volta che il valore visualizzato per il periodo di oscillazione T_{A1} diventa costante, avviare la misura con **F9** e inserire l'angolo nella colonna ϑ (ciccare con il mouse sulla cella della tabella)
- Aumentare l'angolo ripetutamente da 10° e ripetere la misura fino al raggiungimento di ϑ = 80°.

Valutazione

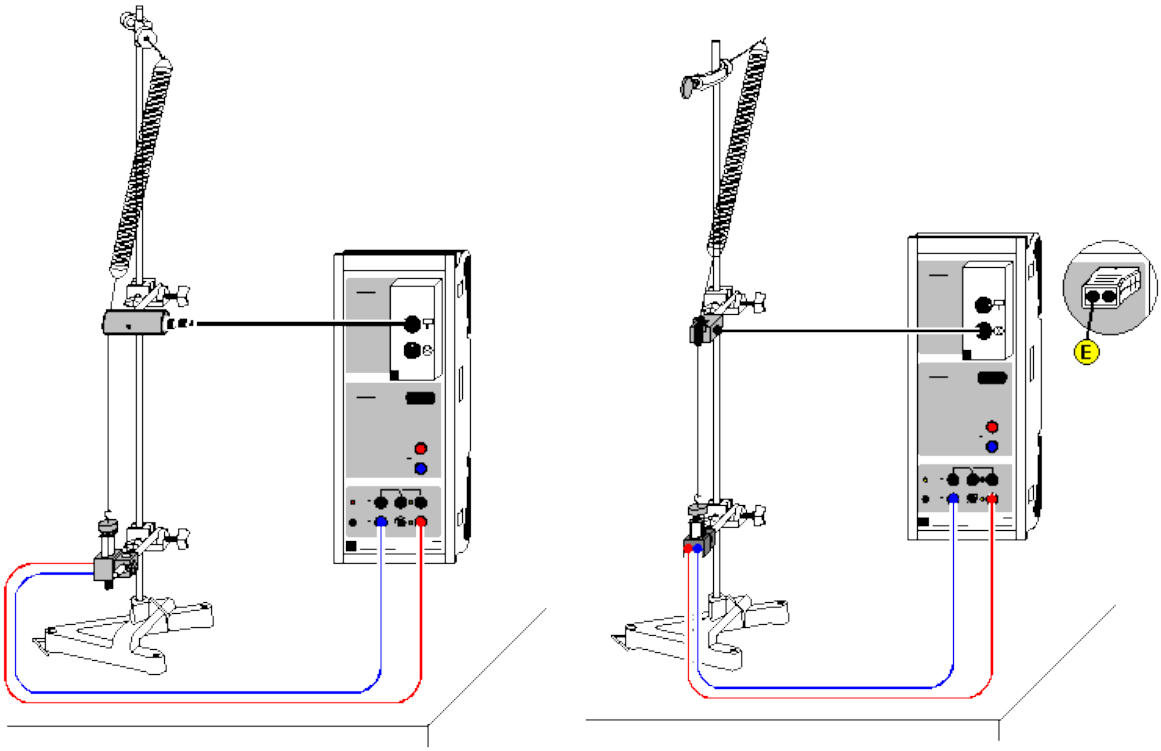
Durante la misura, viene inserita nel diagramma la componente efficace dell'accelerazione dovuta alla gravità $a = l_r \cdot 4\pi^2/T^2$ con l_r = 17,5 cm.

Con un fit libero si può facilmente confermare la relazione $a = g \cdot \cos \vartheta$.

In alternativa, si può simulare un campo di corpi celesti e determinare la loro accelerazione di gravità. Per questo è necessario allineare il pendolo con i contrassegni rossi sulla scala con gli angoli.


0°
10°
20°
30°
40°
50°
60°
70°
80°
90°
Terra
Venere
Venere
Mercurio / Marte
Mercurio / Marte
Luna
Luna
Plutone
Plutone

Oscillazioni armoniche di un pendolo a molla



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

L'esperimento consiste nel registrare le oscillazioni armoniche di un pendolo a molla in funzione del tempo t. Dalla valutazione dei risultati, si può fare un confronto tra lo spostamento s, la velocità v e l'accelerazione a. È possibile, inoltre, visualizzare tali grandezze in funzione del tempo t ed il diagramma della fase.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	BMW box	524 032
1	Trasduttore di spostamento	337 631
	o	
1	Timer S	524 074
1	Barriera luminosa combinata	337 462
1	Ruota a raggi combinata	337 464
1	Cavo di collegamento, 6 poli	501 16
1	Molla elicoidale, 3 N/m	352 10
1	Serie di pesi, 50 g	342 61
1	Magnete a ritenuta	336 21
1	Base di appoggio a V, 28 cm	300 01
1	Asta di sostegno, 25 cm	300 41
1	Asta di sostegno, 150 cm	300 46
2	Morsetti Leybold	301 01
1	Morsetto con gancio	301 08
1	Filo di refe, 10 m	309 48
1	Coppia di cavi, 1 m, rosso e blu	501 46
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Avvolgere il filo del pendolo a molla attorno alla puleggia del trasduttore di spostamento in modo da trasmettere le oscillazioni al sensore; collegare il sensore al morsetto superiore del BMW box. Prima di iniziare la registrazione dei dati, bloccare i pesi verso il basso con il magnete a ritenuta.

Questo esperimento permette di determinare anche l'attrito dell'aria (per esempio con un foglietto di carta attaccato al peso) o gli effetti prodotti dalle variazioni della massa del pendolo.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Mediante **F5**, selezionare l'intervallo di tempo in Parametri di misura (con una scelta appropriata dell'intervallo di tempo si può eseguire un maggior numero di misure ed ottenere i diagrammi di s(t) e v(s) con andamento più regolare, inoltre a(t) presenta una minore dispersione).
- Può essere necessario invertire il verso dello spostamento (selezionare **s <—> -s** in Settaggi sA1).
- Definire come origine la posizione di equilibrio del pendolo (**—> 0 <—** in Settaggi sA1)
- Spostare il pendolo di circa 10 cm e tenerlo in questa posizione con il magnete a ritenuta.
- Avviare la misura con **F9** e, a fine esperimento, terminare sempre con **F9**.
- Prima di ripetere l'esperimento, verificare che l'origine degli spostamenti coincida sempre con la posizione di equilibrio del pendolo.

Valutazione dei risultati

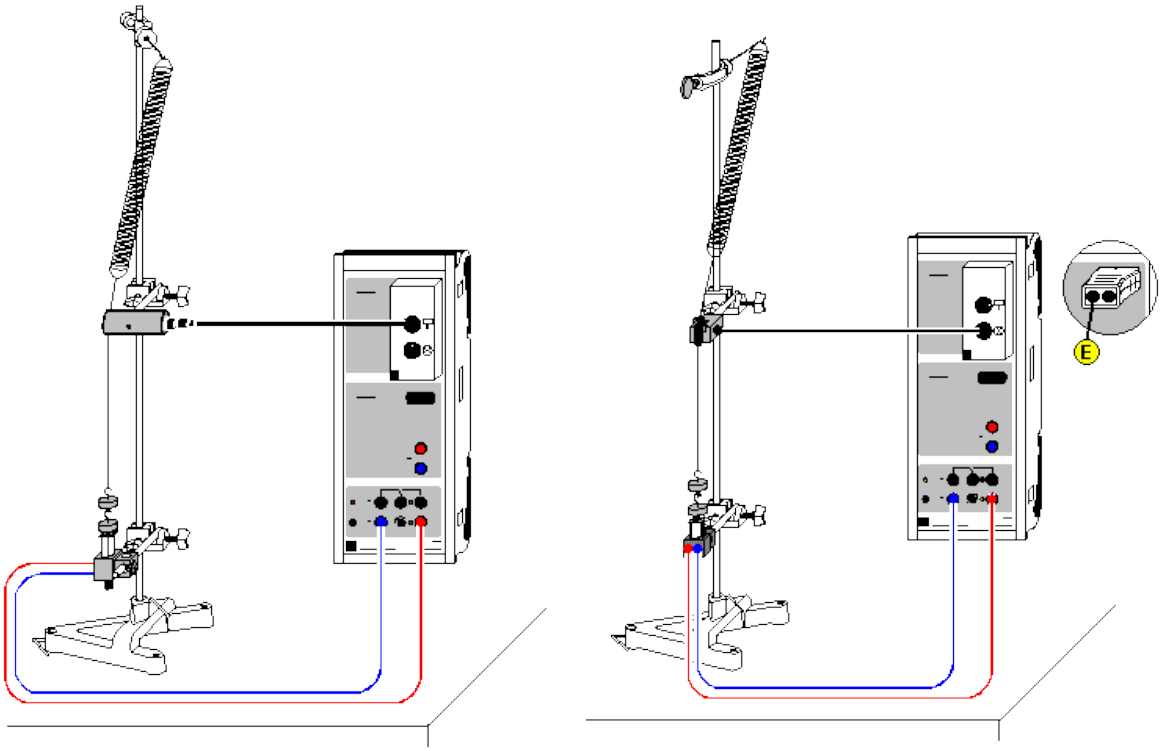
Oltre a visualizzare lo spostamento, questo esperimento permette di avere una visione completa del legame che intercorre tra s(t), v(t) ed a(t) e di ricavare il diagramma della fase v(s).

È possibile visualizzare facilmente sia lo sfasamento sia l'attenuazione delle oscillazioni.

Nota

La qualità della registrazione dei diagrammi dipende molto dalla scelta dell'intervallo di tempo. Nel fare tale scelta bisogna giungere ad un compromesso tra l'esigenza di eseguire numerose misure per ottenere una buona rappresentazione di s(t) (intervalli piccoli) e diagrammi v(t) ed a(t) sufficientemente precisi (intervalli grandi).

Relazione tra il periodo di oscillazione del pendolo a molla e la massa



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

L'esperimento consiste nella registrazione delle oscillazioni armoniche di un pendolo a molla in funzione del tempo con appese masse diverse. Dal diagramma dello spostamento s(t) in funzione del tempo, si determina il periodo T dell'oscillazione. Il diagramma di T^2 in funzione della massa m appesa conferma la relazione $T^2 = (2\pi)^2 \cdot m/D$ (D = costante della molla).

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	BMW box	524 032
1	Trasduttore di spostamento	337 631
	o	
1	Timer S	524 074
1	Barriera luminosa combinata	337 462
1	Ruota a raggi combinata	337 464
1	Cavo di collegamento, 6-poli,	501 16
1	Molla ad elica, 3 N/m	352 10
1	Serie di pesi, 50 g ciascuno	342 61
1	Magnete di ritenuta	336 21
1	Base di appoggio a V, 28 cm	300 01
1	Asta di sostegno, 25 cm	300 41
1	Asta di sostegno, 150 cm	300 46
2	Morsetti Leybold	301 01
1	Morsetto con gancio	301 08
1	Filo di refe, 10 m	309 48
1	Coppia di cavi, 100 cm, rosso e blu	501 46
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Montaggio dell'esperimento (vedere figura)

- Inserire l'asta di sostegno nella base di appoggio e attaccare il morsetto con il gancio all'estremo superiore dell'asta di sostegno.
- Appendere la molla al gancio ed allunarla con un filo ricurvo di circa 45 cm mediante il numero di pesi desiderato.
- Fissare al centro del filo ricurvo un morsetto con il sensore di spostamento.
- Mettere il filo ricurvo con il sensore di spostamento sulla carrucola in modo da trasmettere le oscillazioni del pendolo al sensore senza slittamenti. Per determinare la legge di attenuazione dell'oscillazione, fare in modo che la molla rimanga sempre in posizione verticale.
- Posizionare il magnete di ritenuta sul punto morto inferiore dell'oscillazione del pendolo a molla.
- Mediante il morsetto superiore del BMW box, collegare il sensore di spostamento all'ingresso A di Sensor-CASSY.
- Collegare il magnete a ritenuta all'uscita S di Sensor-CASSY.

Note sull'esperimento

Il magnete di ritenuta serve a individuare esattamente l'inizio dell'oscillazione poiché mantiene i pesi sospesi e permette di eseguire la misura in corrispondenza del punto morto inferiore dell'oscillazione. In presenza dei pesi sospesi, il sensore di spostamento e il magnete di ritenuta debbono essere in posizione verticale rispetto al gancio. La posizione ideale del sensore di spostamento è al centro del filo ricurvo con il pendolo in posizione di equilibrio.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Appendere il numero desiderato di pesi, regolare l'altezza del magnete di ritenuta e del sensore di spostamento.
- Fissare come origine dello spostamento la posizione s_{A1} di equilibrio del pendolo – per questo, cliccare sul pulsante **—> 0 <—** di Settaggi sA1.
- Se necessario, cambiare il segno dello spostamento (pulsante **s** <—> **–s** di Settaggi sA1)
- Allungare il pendolo in modo che i pesi siano trattenuti dal magnete.
- Avviare la misura con **F9**.
- Se si vuole ripetere la misura, prima di registrare i dati, verificare che l'origine dello spostamento si trovi sempre sulla posizione di equilibrio del pendolo.

Valutazione dei risultati

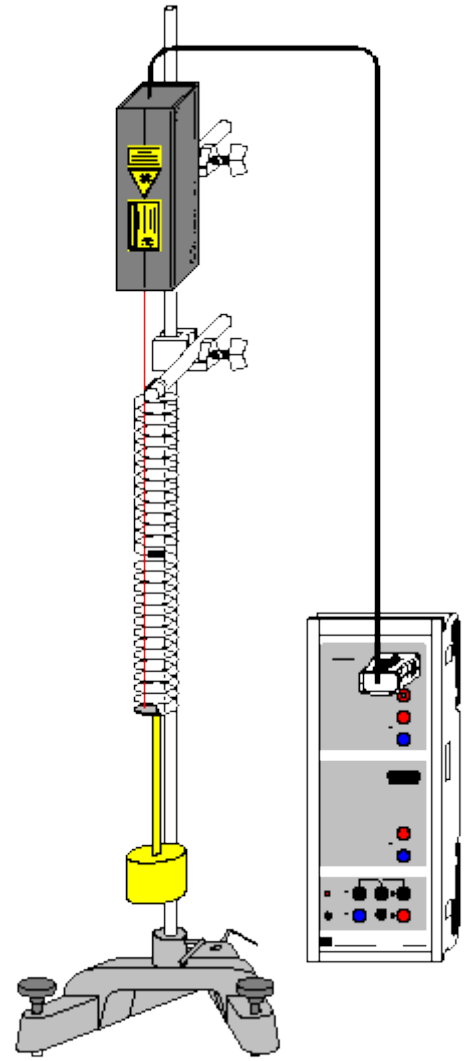
Per ciascun diagramma spostamento-tempo, il periodo T dell'oscillazione si determina cliccando su Differenza delle Misure con il pulsante destro del mouse (oppure **Alt+D**) e successivamente cliccando con il pulsante sinistro su due punti di passaggio per lo zero. Il valore del periodo dell'oscillazione viene visualizzato sulla linea di stato dalla quale, con il mouse, si può trasferire su **Input** (trascina e incolla). Inoltre, si può inserire la massa m e il periodo T nella tabella corrispondente. Successivamente, interpolando i risultati con una retta tramite **Valutazioni**, si ha la conferma della proporzionalità $T^2 \sim m$.

La costante D della molla si ricava tramite la pendenza della retta. Notare che la retta non passa per l'origine. Ai fini dei risultati di questo esperimento, bisogna prendere in considerazione anche la massa della molla.

Consiglio

Per una completa valutazione dei risultati, è necessario ripetere l'esperimento con masse m di valore diverso; quindi, per ciascun valore, determinare manualmente il periodo T dell'oscillazione. Come alternativa, si può determinare automaticamente il periodo T dell'oscillazione. Per fare questo, è sufficiente aprire il display del strumento T' che si trova sulla linea superiore. Eseguita la misura dell'oscillazione, il risultato si può trasferire direttamente su **Input** (trascina e incolla).

Oscillazioni di un pendolo a molla (con modellizzazione)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Note di sicurezza

Osservare le note di sicurezza riportate nella scheda d'uso del sensore di moto laser S.

Descrizione dell'esperimento

Si eccita un pendolo a molla, e vengono registrate le oscillazioni libere per varie masse m.

Ad integrazione dello studio delle oscillazioni di un pendolo a molla soltanto per la modalità della misura, l'oscillazione misurata viene ora, in aggiunta, confrontata con l'oscillazione s(t) ottenuta dall'equazione

$s'' = a = -D/m \cdot s$.

La forza gravitazionale $-m \cdot g$ non è presa in considerazione (vedere Note sulla forza gravitazionale). Le costanti D e m corrispondono alla costante della molla e alla massa oscillante. Quando oscilla anche una parte della molla, La massa oscillante è più grande della massa del contrappeso del pendolo di circa 20 g (=1/3 della massa della molla).

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Sensore di moto laser S	524 073
1	Asta di sostegno filettata	309 00 335
1	Coppia di molle a elica	352 15
1	Piattello per masse ad intaglio, 500 g	315 452
1	Massa ad intaglio 100 g	315 456
1	Massa ad intaglio 200 g	315 458
1	Asta di sostegno 1 m	300 44
1	Asta di sostegno, 25 cm	300 41
2	Morsetto Leybold	301 01
1	Base di sostegno a V, 28 cm	300 01
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Alternativa

Invece del sensore di moto laser S, può essere usato per la misura dello spostamento il sensore di forza S, ±50 N (524 042). Dalla forza misurata F_{A1} e dalla costante D della molla, si può calcolare con una formula la deflessione $s_{A1}=F_{A1}/D$.

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Realizzare il pendolo a molla con una molla grande (diametro=3,5 mm). Per la misura dello spostamento, fissare un pezzo di carta retroriflettente all'anello più basso della molla in modo che il raggio laser del sensore di moto colpisca la carta per l'intera oscillazione (se necessario, fissare la carta all'esterno della molla).

Grazie all'inversione delle due eliche nel centro, questa particolare molla permette una stabile oscillazione libera dall'alto in basso poiché non insorgono oscillazioni di torsione.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- se non è richiesta la modellizzazione, attivare la visualizzazione **Standard** durante la misura.
- Definire la posizione di equilibrio del pendolo come punto zero dello spostamento (**—> 0 <—** in Settaggi sA1; prima di questo, permettere al sensore di moto laser S di scaldarsi per alcuni minuti).
- Tirare il contrappeso del pendolo verso il basso.
- Avviare la misura con **F9**.
- Rilasciare il contrappeso del pendolo. La misura parte automaticamente quando la posizione di equilibrio in s=0 viene attraversata la prima volta.
- Dopo aver fatto la valutazione, ripetere l'esperimento per con masse diverse (masse a intaglio), e confrontare i risultati con la previsione del modello.

Modellizzazione

In questo esempio, sono state scelte le due condizioni iniziali s(t=0)=0 e $v(t=0)=v_0$ poiché è stato preso il trigger nel punto zero dello spostamento. La velocità iniziale v_0, la costante della molla D e la massa m possono essere variate trascinando l'indice nel display del corrispondente strumento (o cliccando a sinistra o a destra dell'indice) fino a che il modello concorda con la misura.

Per confermare il modello, si può aumentare la massa m e ripetere l'esperimento con la massa aumentata. La nuova oscillazione misurata concorderà di nuovo con il modello matematico (si può regolare la velocità iniziale).

Soluzione dell'equazione differenziale

L'equazione differenziale può essere anche risolta analiticamente, e, con le condizioni iniziali s(t=0)=0 e $v(t=0)=v_0$, per ottenere

$s(t) = v_0/\omega_0 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t)$

con $\omega_0=\mathrm{sqr}(D/m)$.

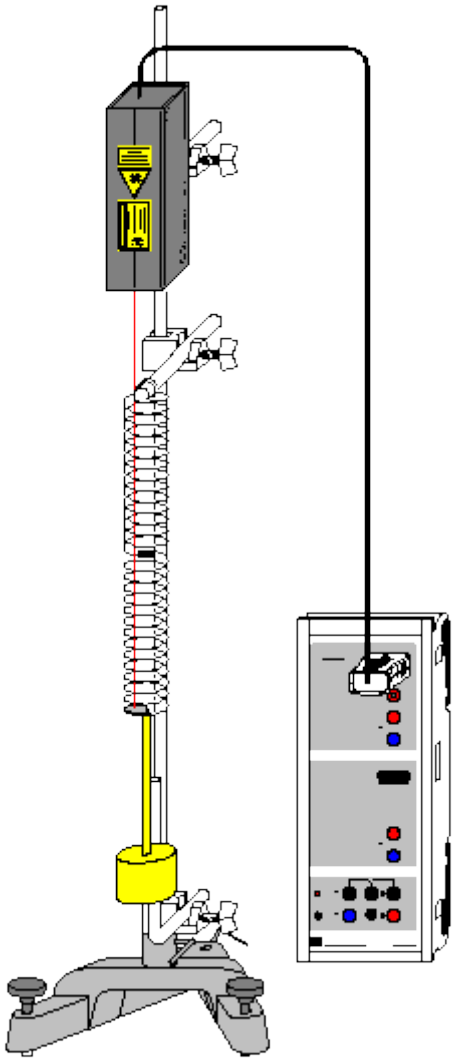
Note sulla forza gravitazionale

Nell'equazione del modello usata sopra, l'azione della forza gravitazionale m·g della massa m del pendolo non è stata considerata. In modo rigoroso, l'equazione del modello dovrebbe essere

$s'' = a = –D/m·s – g = –D/m·(s + m·g/D) = –D/m·(s – s_0)$

con s_0=–m·g/D. Questo spostamento del punto zero del pendolo è esattamente visualizzato nel display **Modellizzazione con g**, che può essere selezionato con il mouse. Quando è spostato solo il punto zero, la forza gravitazionale è normalmente omessa nell'equazione del modello. Questo è fatto anche nei seguenti esempi, dove verranno studiati attrito di un solido, attrito di un lubrificante, attrito di un liquido laminare e attrito di un liquido turbolento/attrito dell'aria.

Oscillazioni di un pendolo a molla con attrito di un solido (con modellizzazione)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Note di sicurezza

Osservare le note di sicurezza riportate nella scheda d'uso del sensore di moto laser S.

Descrizione dell'esperimento

Ad integrazione dell'esperimento Oscillazioni di un pendolo a molla, il corpo oscillante è sottoposto ad una forza F d'attrito aggiuntiva mediante lo strofinio dello scorrimento su un'asta di metallo (attrito di Coulomb). L'intensità di questa forza d'attrito è costante e la sua direzione è sempre opposta a quella del moto. Così si può scrivere nella forma $F=-F_0 \cdot sgn(v)$ con una costante F_0. L'equazione del modello allora si legge

$s'' = a = -D/m \cdot s - F_0/m \cdot sgn(v)$.

La forza gravitazionale $-m \cdot g$ non è presa in considerazione (vedere Note sulla forza gravitazionale). Le costanti D e m corrispondono alla costante della molla e alla massa oscillante. Quando oscilla anche una parte della molla, La massa oscillante è più grande della massa del contrappeso del pendolo di circa 20 g (=1/3 della massa della molla).

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Sensore di moto laser S	524 073
1	Asta di sostegno filettata	309 00 335
1	Coppia di molle a elica	352 15
1	Piattello per masse ad intaglio, 500 g	315 452
1	Asta di sostegno 1 m	300 44
1	Asta di sostegno, 25 cm	300 41
1	Asta di sostegno piegata ad angolo retto	300 51
3	Morsetti Leybold	301 01
1	Base di sostegno a V, 28 cm	300 01
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Alternativa

Invece del sensore di moto laser S, può essere usato per la misura dello spostamento il sensore di forza S, ±50 N (524 042). Dalla forza misurata F_{A1} e dalla costante D della molla, si può calcolare con una formula la deflessione $s_{A1}=F_{A1}/D$.

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Realizzare il pendolo a molla con una molla grande (diametro=3,5 mm). Per la misura dello spostamento, fissare un pezzo di carta retroriflettente all'anello più basso della molla in modo che il raggio laser del sensore di moto colpisca la carta per l'intera oscillazione (se necessario, fissare la carta all'esterno della molla).

Grazie all'inversione delle due eliche nel centro, questa particolare molla permette una stabile oscillazione libera dall'alto in basso poiché non insorgono oscillazioni di torsione

Quando il contrappeso del pendolo è nella posizione di equilibrio, deve essere vicino al centro dell'asta di sostegno piegata. Durante l'oscillazione, il contrappeso del pendolo deve sempre scorrere lungo l'asta piegata con attrito.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- se non è richiesta la modellizzazione, attivare la visualizzazione **Standard** durante la misura.
- Definire la posizione di equilibrio del pendolo come punto zero dello spostamento (**—> 0 <—** in Settaggi sA1; prima di questo, permettere al sensore di moto laser S di scaldarsi per alcuni minuti).
- Tirare il contrappeso del pendolo verso il basso.
- Avviare la misura con **F9**.
- Rilasciare il contrappeso del pendolo. La misura parte automaticamente quando la posizione di equilibrio in s=0 viene attraversata la prima volta.
- Dopo aver fatto la valutazione, ripetere l'esperimento con altre forze di attrito, e confrontare i risultati con la previsione del modello. Per variare la forza di attrito, stringere l'asta di sostegno piegata in diverse posizioni.

Modellizzazione

In questo esempio, sono state scelte le due condizioni iniziali $s(t=0)=0$ e $v(t=0)=v_0$ poiché è stato preso il trigger nel punto zero dello spostamento. La velocità iniziale v_0, la costante della molla D e la massa m e la forza d'attrito F_0 possono essere variate trascinando l'indice nel display del corrispondente strumento (o ciccando a sinistra o a destra dell'indice) fino a che il modello concorda con la misura.

La dipendenza della forza d'attrito del modello dalla velocità può essere vista nel display **Forza d'attrito**.

Per confermare il modello, si può aumentare la forza F_0 d'attrito (far scorrere corrispondentemente l'asta piegata). Se l'intensità della forza F_0 d'attrito nel modello è aumentata in corrispondenza e, se necessario, viene regolata la velocità v_0 iniziale. La nuova oscillazione misurata concorderà di nuovo con il modello matematico.

Valutazione della forza d'attrito

L'ordine di grandezza della forza d'attrito per strofinio può essere valutato direttamente dal montaggio sperimentale. Nel caso di attrito per strofinio, l'intensità della forza d'attrito è

$F_0 = \mu \cdot F_N = \mu \cdot m \cdot g \cdot \sin \alpha$

Con il coefficiente di attrito per strofinio μ e la forza normale $F_N = m \cdot g \cdot \sin \alpha$. In questo esempio, l'angolo α fra la verticale e l'asse di attrito è circa 2° e μ=0,12 (coefficiente di attrito per strofinio di acciaio su acciaio), e si ottiene F_0=20 mN, che è in accordo con il modello.

Inviluppo

La diminuzione lineare dell'ampiezza dell'oscillazione nel caso di una forza d'attrito con intensità costante segue dalla conservazione dell'energia. Fra due punti d'inversione successivi $s_1>0$ e $s_2<0$, il lavoro fatto dall'attrito è $W = F_0 \cdot s_1 + (-F_0) \cdot s_2$. Poichè l'energia cinetica nei punti d'inversione è 0, rimane solo l'energia della molla $1/2 \cdot D \cdot s_1^2$ e $1/2 \cdot D \cdot s_2^2$ (vedere anche Note sulla forza gravitazionale).

Il bilancio energetico è così

$1/2 \cdot D \cdot s_1^2 = 1/2 \cdot D \cdot s_2^2 + W$ o

$W = 1/2 \cdot D \cdot (s_1^2 - s_2^2) = 1/2 \cdot D \cdot (s_1+s_2)\,(s_1-s_2) = F_0 \cdot (s_1-s_2)$.

Da questo segue che la differenza delle intensità delle ampiezze è $|s_1|-|s_2| = s_1+s_2 = 2F_0/D$. Quindi segue che la diminuzione costante dell'ampiezza per un intero periodo è $\Delta s = 4F_0/D$.

L'ampiezza iniziale s_0 dell'inviluppo deriva anche dalle costanti del modello da

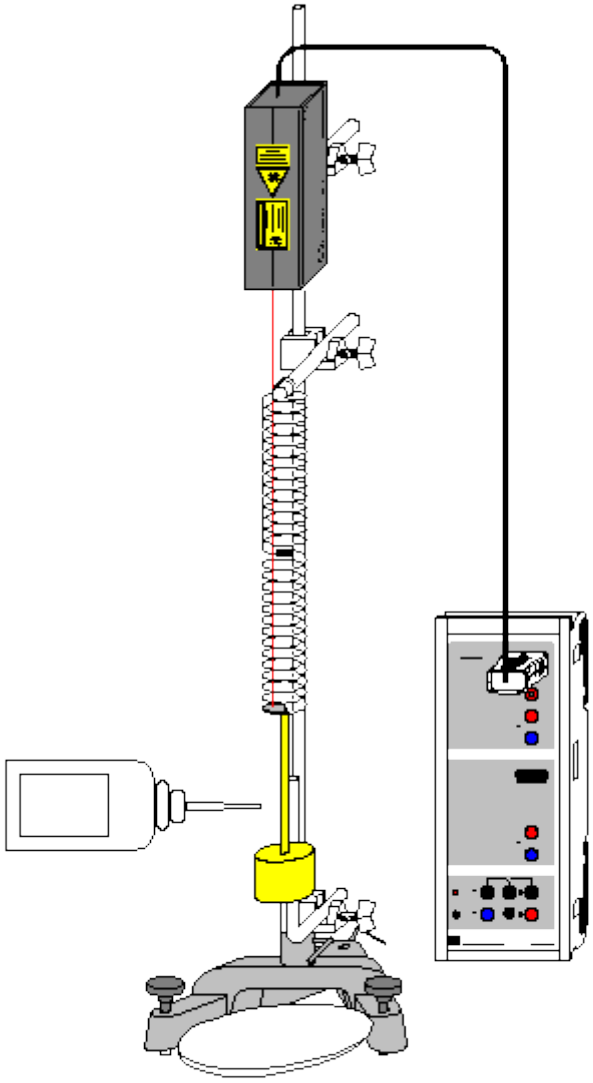
$1/2 \cdot m \cdot v_0^2 = 1/2 \cdot D \cdot s_0^2$.

Per piccole forze d'attrito, la funzione che descrive l'inviluppo può essere scritta nella forma

$\pm f(t) = s_0 - 4F_0/D \cdot t/T = |v_0|/\omega_0 - 4F_0/D \cdot t/(2\pi/\omega_0) = |v_0|/\omega_0 \cdot (1 - 2/\pi \cdot F_0/m/|v_0| \cdot t) = s_0 \cdot (1 - 2/\pi \cdot k \cdot t)$

con $\omega_0 = \mathrm{sqr}(D/m)$, $s_0 = |v_0|/\omega_0$ und $k = F_0/m/|v_0|$.

Oscillazioni di un pendolo a molla con attrito di un lubrificante (con modellizzazione)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Note di sicurezza

Osservare le note di sicurezza riportate nella scheda d'uso del sensore di moto laser S.

Descrizione dell'esperimento

Ad integrazione dell'esperimento Oscillazioni di un pendolo a molla, il corpo oscillante è sottoposto ad una forza F d'attrito aggiuntiva mediante l'attrito di un lubrificante (attrito di Reynolds). L'intensità di questa forza d'attrito è proporzionale alla radice quadrata della velocità, ma la sua direzione è sempre opposta a quella del moto. Così si può scrivere nella forma $F=-F_0 \cdot sqr|v/v_0| \cdot sgn(v)$. F_0 è l'intensità della forza d'attrito che agisce sul sistema a una velocità iniziale $|v_0|$. L'equazione del modello allora si legge

$s'' = a = -D/m \cdot s - F_0/m \cdot sqr|v/v_0| \cdot sgn(v)$.

La forza gravitazionale –m·g non è presa in considerazione (vedere Note sulla forza gravitazionale). Le costanti D e m corrispondono alla costante della molla e alla massa oscillante. Quando oscilla anche una parte della molla, La massa oscillante è più grande della massa del contrappeso del pendolo di circa 20 g (=1/3 della massa della molla).

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Sensore di moto laser S	524 073
1	Asta di sostegno filettata	309 00 335
1	Coppia di molle a elica	352 15
1	Piattello per masse ad intaglio, 500 g	315 452
1	Paraffina, viscosa, 100 ml	674 0800
1	Capsula di Petri	664 183
1	Asta di sostegno, 1 m	300 44
1	Asta di sostegno, 25 cm	300 41
1	Asta di sostegno, piegata a angolo retto	300 51
3	Morsetti Leybold	301 01
1	Base di sostegno a V, 28 cm	300 01
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Alternativa

Invece del sensore di moto laser S, può essere usato per la misura dello spostamento il sensore di forza S, ±50 N (524 042). Dalla forza misurata F_{A1} e dalla costante D della molla, si può calcolare con una formula la deflessione $s_{A1}=F_{A1}/D$.

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Realizzare il pendolo a molla con una molla grande (diametro=3,5 mm). Per la misura dello spostamento, fissare un pezzo di carta retroriflettente all'anello più basso della molla in modo che il raggio laser del sensore di moto colpisca la carta per l'intera oscillazione (se necessario, fissare la carta all'esterno della molla).

Grazie all'inversione delle due eliche nel centro, questa particolare molla permette una stabile oscillazione libera dall'alto in basso poiché non insorgono oscillazioni di torsione

Quando il contrappeso del pendolo è nella posizione di equilibrio, deve essere vicino al centro dell'asta di sostegno piegata. Durante l'oscillazione la paraffina viscose deve sempre formare un film fra il contrappeso del pendolo e l'asta di sostegno piegata. Altri lubrificanti adatti sono il sapone liquido o la vasellina (675 3100) mista con olio.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- se non è richiesta la modellizzazione, attivare la visualizzazione **Standard** durante la misura.
- Applicare una buona quantità di paraffina viscose sull'asta di sostegno piegata perchè ci sia sempre uno strato fra il contrappeso del pendolo e l'asta di sostegno durante la misura.
- Definire la posizione di equilibrio del pendolo come punto zero dello spostamento (**—> 0 <—** in Settaggi sA1; prima di questo, permettere al sensore di moto laser S di scaldarsi per alcuni minuti).
- Tirare il contrappeso del pendolo verso il basso.
- Avviare la misura con **F9**.
- Rilasciare il contrappeso del pendolo. La misura parte automaticamente quando la posizione di equilibrio in s=0 viene attraversata la prima volta.

Modellizzazione

In questo esempio, sono state scelte le due condizioni iniziali s(t=0)=0 e $v(t=0)=v_0$ poiché è stato preso il trigger nel punto zero dello spostamento. La velocità iniziale v_0, la costante della molla D e la massa m e la forza d'attrito F_0 possono essere variate trascinando l'indice nel display del corrispondente strumento (o ciccando a sinistra o a destra dell'indice) fino a che il modello concorda con la misura.

La dipendenza della forza d'attrito del modello dalla velocità può essere vista nel display **Forza d'attrito**.

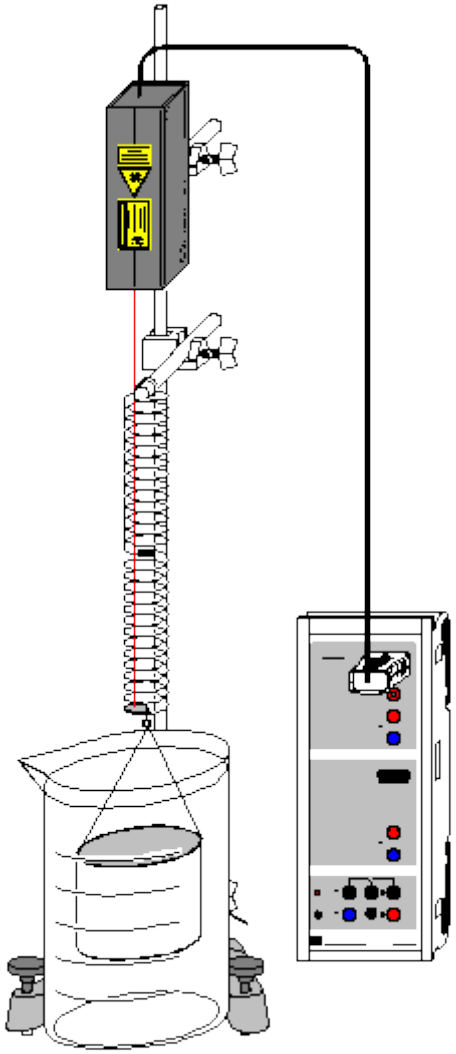
Inviluppo

Per piccole forze d'attrito proporzionale alla radice quadrata della velocità, la funzione che descrive l'inviluppo è data da

$\pm f(t) = |v_0|/\omega_0 \cdot (1–0{,}2782 \cdot F_0/m/|v_0| \cdot t)^2 = s_0 \cdot (1–0{,}2782 \cdot k \cdot t)^2$

con ω_0=sqr(D/m), $s_0=|v_0|/\omega_0$ and $k=F_0/m/|v_0|$.

Oscillazioni di un pendolo a molla con attrito di un liquido laminare (con modellizzazione)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Note di sicurezza

Osservare le note di sicurezza riportate nella scheda d'uso del sensore di moto laser S.

Descrizione dell'esperimento

Ad integrazione dell'esperimento Oscillazioni di un pendolo a molla, il corpo oscillante è sottoposto ad una forza di attrito aggiuntiva F attraverso l'attrito di un liquido laminare (attrito di Stokes) nell'acqua. L'intensità della forza d'attrito è proporzionale alla velocità, ma la sua direzione è sempre opposta a quella del moto. Così si può scrivere nella forma $F=-F_0 \cdot v/|v_0|$. F_0 è l'intensità della forza d'attrito che agisce sul sistema a una velocità iniziale $|v_0|$. L'equazione del modello allora si legge

$s'' = a = -D/m \cdot s - F_0/m \cdot v/|v_0|$.

La forza gravitazionale $-m \cdot g$ non è presa in considerazione (vedere Note sulla forza gravitazionale). Le costanti D e m corrispondono alla costante della molla e alla massa oscillante. Quando si muove l'acqua e oscilla anche una parte della molla, la massa oscillante è più grande della massa del contrappeso del pendolo.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Sensore di moto laser S	524 073
1	Asta di sostegno filettata	309 00 335
1	Coppia di molle a elica	352 15
1	Cilindro cavo per l'attrito di un liquido	342 11
1	Becher, 3000 ml	664 134
1	Asta di sostegno, 1 m	300 44
1	Asta di sostegno, 25 cm	300 41
2	Morsetti Leybold	301 01
1	Base di sostegno a V, 28 cm	300 01
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Alternativa

Invece del sensore di moto laser S, può essere usato per la misura dello spostamento il sensore di forza S, ±50 N (524 042). Dalla forza misurata F_{A1} e dalla costante D della molla, si può calcolare con una formula la deflessione $s_{A1}=F_{A1}/D$.

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Realizzare il pendolo a molla con una molla grande (diametro=3,5 mm). Per la misura dello spostamento, fissare un pezzo di carta retroriflettente all'anello più basso della molla in modo che il raggio laser del sensore di moto colpisca la carta per l'intera oscillazione (se necessario, fissare la carta all'esterno della molla).

Grazie all'inversione delle due eliche nel centro, questa particolare molla permette una stabile oscillazione libera dall'alto in basso poiché non insorgono oscillazioni di torsione

Quando il cilindro cavo è nella posizione di equilibrio, si trova vicino al centro dell'acqua contenuta nel becher, allineare in posizione verticale il cilindro con la maggior precisione possibile.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- se non è richiesta la modellizzazione, attivare la visualizzazione **Standard** durante la misura.
- Definire la posizione di equilibrio del pendolo come punto zero dello spostamento (**—> 0 <—** in Settaggi sA1; prima di questo, permettere al sensore di moto laser S di scaldarsi per alcuni minuti).
- Tirare il cilindro cavo verso il basso.
- Avviare la misura con **F9**.
- Rilasciare il cilindro cavo. La misura parte automaticamente quando la posizione di equilibrio in s=0 viene attraversata la prima volta.

Modellizzazione

In questo esempio, sono state scelte le due condizioni iniziali s(t=0)=0 e $v(t=0)=v_0$ poiché è stato preso il trigger nel punto zero dello spostamento. La velocità iniziale v_0, la costante della molla D e la massa m e la forza d'attrito F_0 possono essere variate trascinando l'indice nel display del corrispondente strumento (o ciccando a sinistra o a destra dell'indice) fino a che il modello concorda con la misura.

La dipendenza della forza d'attrito del modello dalla velocità può essere vista nel display **Forza d'attrito**.

Soluzione dell'equazione differenziale

A differenza dell'attrito di Coulomb, dell'attrito di Reynolds e dell'attrito di Newton, nel caso dell'attrito di Stokes l'equazione differenziale può essere risolta analiticamente. Con le condizioni iniziali s(t=0)=0 e $v(t=0)=v_0$,

$s(t) = v_0/\omega \sin(\omega \cdot t) \exp(-1/2 \cdot k \cdot t)$

si ottiene, con ω_0=sqr(D/m), ω=sqr($\omega_0^2-k^2/4$) e $k=F_0/m/|v_0|$.

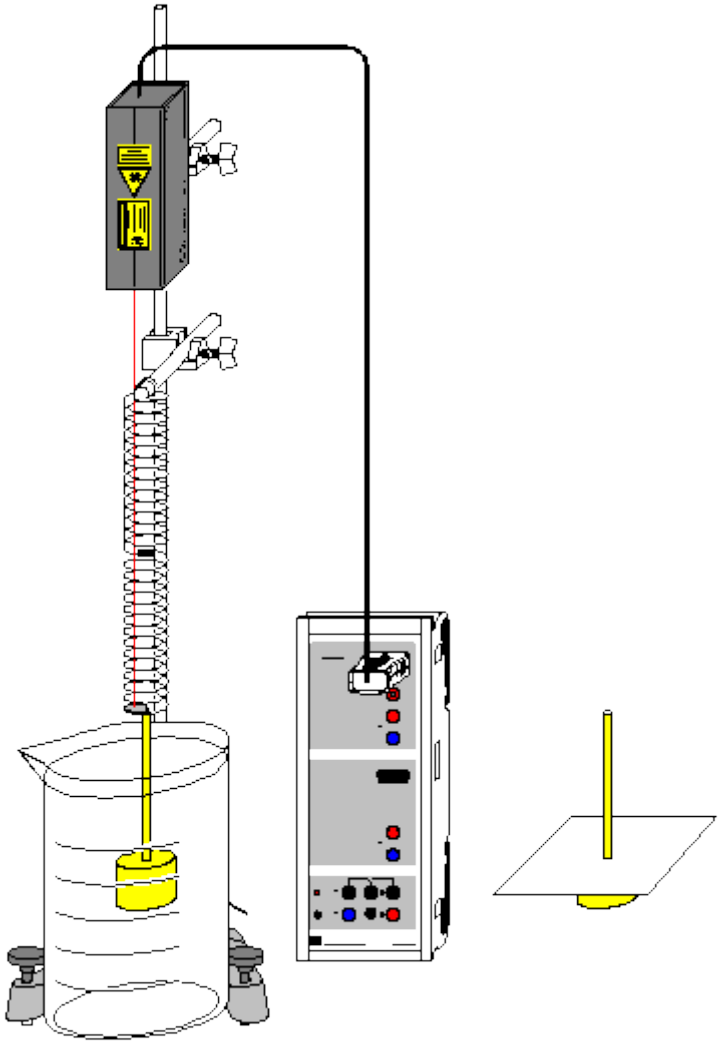
Inviluppo

Per forze d'attrito proporzionali alla velocità, la funzione descritta dall'inviluppo ha quindi la forma

$\pm f(t) = s_0 \cdot \exp(-1/2 \cdot k \cdot t)$

con $s_0 = |v_0|/\omega$.

Oscillazioni di un pendolo a molla con attrito di un liquido turbolento/attrito dell'aria (con modellizzazione)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Note di sicurezza

Osservare le note di sicurezza riportate nella scheda d'uso del sensore di moto laser S.

Descrizione dell'esperimento

Ad integrazione dell'esperimento Oscillazioni di un pendolo a molla, il corpo oscillante è sottoposto ad una forza di attrito aggiuntiva F attraverso l'attrito di un liquido laminare (attrito di Stokes) nell'acqua. L'intensità della forza d'attrito è proporzionale al quadrato della velocità, ma la sua direzione è sempre opposta a quella del moto. Così si può scrivere nella forma $F=-F_0 \cdot (v/v_0)^2 \cdot \mathrm{sgn}(v)$. F_0 è l'intensità della forza d'attrito che agisce sul sistema a una velocità iniziale $|v_0|$. L'equazione del modello allora si legge

$s'' = a = -D/m \cdot s - F_0/m \cdot (v/v_0)^2 \cdot \mathrm{sgn}(v)$.

La forza gravitazionale $-m \cdot g$ non è presa in considerazione (vedere Note sulla forza gravitazionale). Le costanti D e m corrispondono alla costante della molla e alla massa oscillante. Quando si muove l'acqua e oscilla anche una parte della molla, La massa oscillante è più grande della massa del contrappeso del pendolo.

Dalla costante di attrito F_0 si può calcolare il coefficiente di resistenza (valore c_w) per il contrappeso cilindrico del pendolo.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Sensore di moto laser S	524 073
1	Asta di sostegno filettata	309 00 335
1	Coppia di molle a elica	352 15
1	Piattello per masse ad intaglio, 500 g	315 452
1	Becher, 3000 ml	664 134
1	Asta di sostegno, 1 m	300 44
1	Asta di sostegno, 25 cm	300 41
2	Morsetti Leybold	301 01
1	Base di sostegno a V, 28 cm	300 01
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Alternative

Invece del sensore di moto laser S, può essere usato per la misura dello spostamento il sensore di forza S, ±50 N (524 042). Dalla forza misurata F_{A1} e dalla costante D della molla, si può calcolare con una formula la deflessione $s_{A1}=F_{A1}/D$.

Per lo studio dell'attrito dell'aria, fissare un pezzo di cartone al contrappeso del pendolo per creare l'attrito dell'aria.

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Realizzare il pendolo a molla con una molla grande (diametro=3,5 mm). Per la misura dello spostamento, fissare un pezzo di carta retroriflettente all'anello più basso della molla in modo che il raggio laser del sensore di moto colpisca la carta per l'intera oscillazione (se necessario, fissare la carta all'esterno della molla).

Grazie all'inversione delle due eliche nel centro, questa particolare molla permette una stabile oscillazione libera dall'alto in basso poiché non insorgono oscillazioni di torsione

Quando il contrappeso del pendolo è nella posizione di equilibrio, si trova vicino al centro dell'acqua contenuta nel becher.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- se non è richiesta la modellizzazione, attivare la visualizzazione **Standard** durante la misura.
- Definire la posizione di equilibrio del pendolo come punto zero dello spostamento (**—> 0 <—** in Settaggi sA1; prima di questo, permettere al sensore di moto laser S di scaldarsi per alcuni minuti).
- Tirare il contrappeso del pendolo verso il basso.
- Avviare la misura con **F9**.
- Rilasciare il cilindro cavo. La misura parte automaticamente quando la posizione di equilibrio in s=0 viene attraversata la prima volta.

Modellizzazione

In questo esempio, sono state scelte le due condizioni iniziali $s(t=0)=0$ e $v(t=0)=v_0$ poiché è stato preso il trigger nel punto zero dello spostamento. La velocità iniziale v_0, la costante della molla D e la massa m e la forza d'attrito F_0 possono essere variate trascinando l'indice nel display del corrispondente strumento (o ciccando a sinistra o a destra dell'indice) fino a che il modello concorda con la misura.

La dipendenza della forza d'attrito del modello dalla velocità può essere vista nel display **Forza d'attrito**.

La resistenza F_L del contrappeso del pendolo che scorre nel liquido è data da

$$F_L = c_w \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A = F_0 \cdot (v/v_0)^2$$

Con il coefficiente di resistenza c_w, la pressione dinamica $p=1/2\cdot\rho\cdot v^2$ e la superficie di riposo dell'acqua $A=\pi\cdot r^2$. Il coefficiente di resistenza è il rapporto fra la forza misurata e la forza dinamica teorica $p\cdot A$. Si ottiene

$c_w = 2F_0/v_0^2/(\rho\cdot A)$.

In questo esempio, si ha r = 2,5 cm e ρ = 1 g/cm³, e quindi $\rho\cdot A$ = 1,96 kg/m. Il processo di modellizzazione dà F_0 = 0,1828 N e v_0 = 0,325 m/s. Così si trova c_w = 1,7.

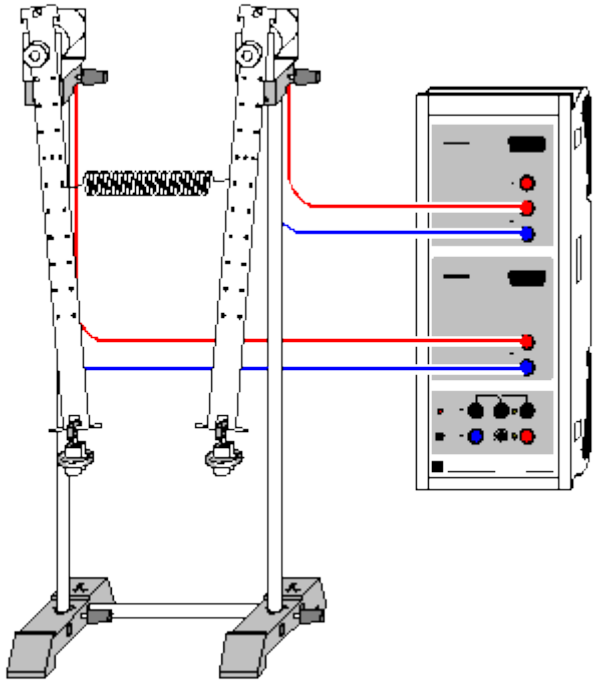
Inviluppo

Per piccole forze d'attrito proporzionali al quadrato della velocità, la funzione descritta dall'inviluppo è quindi data da

$\pm f(t) = |v_0|\cdot sqr(m/D)/(1+4/3\pi\cdot F_0/m/|v_0|\cdot t) = s_0/(1+4/3\pi\cdot k\cdot t)$

con $\omega_0=sqr(D/m)$, $s_0=|v_0|/\omega_0$ and $k=F_0/m/|v_0|$.

Pendoli accoppiati con due generatori tachimetrici



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Due pendoli accoppiati oscillano in fase a frequenza f_1 quando lo spostamento iniziale dalla posizione di equilibrio è uguale per entrambi. Se lo spostamento iniziale di uno dei due pendoli è in direzione opposta, essi oscillano in opposizione di fase ed alla frequenza f_2. Spostando un solo pendolo, si genera un'oscillazione accoppiata di frequenza

$f_n = ½ (f_1 + f_2)$

In questo caso, durante l'oscillazione, si ha uno scambio di energia tra un pendolo e l'altro. Il primo pendolo si arresta dopo un certo tempo, contemporaneamente, l'ampiezza dell'oscillazione dell'altro pendolo è massima. L'intervallo di tempo che intercorre tra due istanti successivi nei quali il pendolo è fermo, si chiama periodo del battimento T_s. In corrispondenza si ha una frequenza di battimento

$f_s = | f_1 – f_2 |$.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Coppia di pendoli lineari, 40 cm	346 03
1	Serie di pesi	340 85
2	Supporti a gancio con spina	314 04
1	Molla elicoidale, 3 N/m	352 10
2	Generatori tachimetrici STE	579 43
2	Blocchi a morsetto MF	301 25
1	Asta di sostegno, 25 cm, d = 10 cm	301 26
2	Aste di sostegno, 50 cm, d = 10 cm	301 27
2	Basi di sostegno MF	301 21
2	Coppie di cavi, 1 m, rosso e blu	501 46
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

I movimenti dei pendoli sono trasmessi ai generatori tachimetrici. Le tensioni fornite dai due generatori si misurano attraverso gli ingressi A e B di Sensor-CASSY. L'accoppiamento si può variare collegando la molla elicoidale a diverse altezze.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Avviare l'esperimento con **F9** e spostare i due pendoli nella stessa direzione, cioè in fase (arrestare la misura dopo 30 s).
- Avviare l'esperimento con **F9** e spostare i due pendoli in opposizione di fase (arrestare la misura dopo 30 s).
- Avviare l'esperimento con **F9** e spostare solo il primo pendolo (arrestare la misura dopo 30 s).

Valutazione dei risultati

Per visualizzare le due oscillazioni naturali, cliccare su **Oscillazioni Naturali**

$U_+ = U_A + U_B$

$U_- = U_A - U_B$

Se i due pendoli sono eccitati in fase, si ha l'oscillazione U_+ di frequenza f_1; nel caso di eccitazione in opposizione di fase, si ha l'oscillazione U_- di frequenza f_2. Solo quando si sposta un solo pendolo, tutto il sistema oscilla alla sua frequenza naturale; in questo caso si genera il fenomeno dei battimenti che si può analizzare attraverso la visualizzazione **Standard**.

Per determinare la frequenza f_s del battimento e la nuova frequenza di oscillazione f_n, si può inserire nel diagramma le linee verticali di demarcazione oppure misurare direttamente la differenza (per migliorare la precisione, si suggerisce di ripetere più volte la misura e calcolare il valor medio dei risultati ottenuti).

In questo esempio si ottiene $f_1 = 0{,}875$ Hz, $f_2 = 0{,}986$ Hz, $f_n = 0{,}93$ Hz, $f_s = 0{,}11$ Hz. Questi risultati confermano in pieno la teoria; infatti si ha $f_n = ½ (f_1 + f_2) = 0{,}93$ Hz ed $f_s = | f_1 - f_2 | = 0{,}11$ Hz.

In **Spettro di Frequenza** si possono far comparire le frequenze e le rispettive ampiezze U_+, U_- ed U_A. Per determinare i valori delle frequenze senza troppe difficoltà, conviene cercare i centri dei picchi.

Teoria

Se sono rispettate alcune particolari condizioni (piccoli spostamenti, peso della molla di accoppiamento trascurabile, attenuazione nulla), le equazioni differenziali del moto dei pendoli sono le seguenti:

$F_1 = ma_1 = -Dx_1 + C(x_2 - x_1)$
$F_2 = ma_2 = -Dx_2 - C(x_2 - x_1)$

$-Dx_i$ (dove $D = mg/l$) è la forza che fornisce il singolo pendolo e $C(x_2 - x_1)$ è la forza dovuta all'accoppiamento tra i due pendoli. Risolvendo le equazioni differenziali, si ottiene:

$x(t) = A \cos(\omega_1 \cdot t) + B \cos(\omega_2 \cdot t)$

dove ω_1 ed ω_2 sono le frequenze fondamentali. I valori delle costanti A e B dipendono dalle condizioni iniziali:

Nel caso di spostamento in fase, si ha $A = x_0$, $B = 0$ (oscillazione sinusoidale di pulsazione ω_1)
Nel caso di spostamento in opposizione di fase si ha $A = 0$, $B = x_0$ (oscillazione sinusoidale di pulsazione ω_2)
Lo spostamento iniziale di un pendolo è dato da $A = B = ½ x_0$.

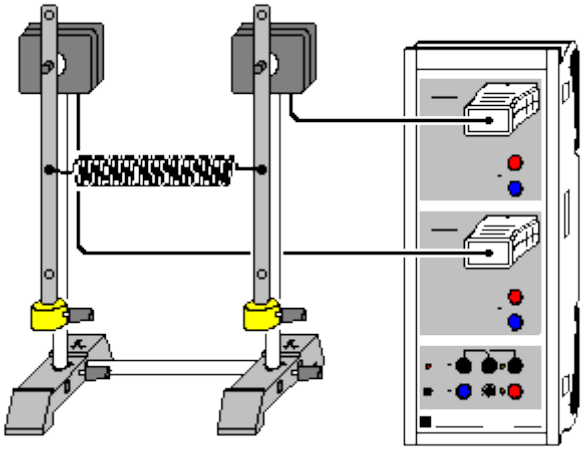
In quest'ultimo caso si ha:

$x(t) = ½ x_0 (\cos(\omega_1 \cdot t) + \cos(\omega_2 \cdot t)) = x_0 \cos(½ \omega_s \cdot t) \cos(\omega_n \cdot t)$

dove $\omega_s = | \omega_1 - \omega_2 |$ ed $\omega_n = ½ (\omega_1 + \omega_2)$ oppure $f_s = | f_1 - f_2 |$ ed $f_n = ½ (f_1 + f_2)$.

Se la differenza delle due frequenze f_1 ed f_2 è molto piccola, questa equazione descrive un'oscillazione di frequenza f_n modulata in ampiezza da una frequenza f_s più bassa, quindi si ha un battimento.

Pendoli accoppiati con due sensori di moto rotatorio



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Due pendoli accoppiati oscillano in fase a frequenza f_1 quando lo spostamento iniziale dalla posizione di equilibrio è uguale per entrambi. Se lo spostamento iniziale di uno dei due pendoli è in direzione opposta, essi oscillano in opposizione di fase ed alla frequenza f_2. Spostando un solo pendolo, si genera un'oscillazione accoppiata di frequenza

$f_n = ½ (f_1 + f_2)$

In questo caso, durante l'oscillazione, si ha uno scambio di energia tra un pendolo e l'altro. Il primo pendolo si arresta dopo un certo tempo, contemporaneamente, l'ampiezza dell'oscillazione dell'altro pendolo è massima. L'intervallo di tempo che intercorre tra due istanti successivi nei quali il pendolo è fermo, si chiama periodo del battimento T_s. In corrispondenza si ha una frequenza di battimento

$f_s = | f_1 – f_2 |$.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
2	Sensori di moto rotatorio S	524 082
2	Pendoli fisici	346 20
1	Molla a elica, 3 N/m	352 10
1	Asta di sostegno, 25 cm, d = 10 mm	301 26
2	Basi di sostegno MF	301 21
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

I pendoli sono avvitati sull'asse dei sensori di moto rotatorio. Per variare l'accoppiamento, la molla di accoppiamento può essere collegata a differenti altezze.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Definire I punti zero nella posizione di equilibrio dei pendoli (**—> 0 <—** in Settaggi αA1 e αB1)
- Avviare l'esperimento con **F9** e spostare i due pendoli nella stessa direzione, cioè in fase (arrestare la misura dopo 40 s).
- Avviare l'esperimento con **F9** e spostare i due pendoli in opposizione di fase (arrestare la misura dopo 40 s).
- Avviare l'esperimento con **F9** e spostare solo il primo pendolo (arrestare la misura dopo 40 s).

Valutazione

Per visualizzare le due oscillazioni naturali, cliccare su **Oscillazioni naturali**

$\alpha_+ = \alpha_A + \alpha_B$

$\alpha_- = \alpha_A - \alpha_B$

Se i due pendoli sono eccitati in fase, si ha l'oscillazione α_+ di frequenza f_1; nel caso di eccitazione in opposizione di fase, si ha l'oscillazione α_- di frequenza f_2. Solo quando si sposta un solo pendolo, tutto il sistema oscilla alla sua frequenza naturale; in questo caso si genera il fenomeno dei battimenti che si può analizzare attraverso la visualizzazione **Standard**

Per determinare la frequenza f_s del battimento e la nuova frequenza di oscillazione f_n, si può inserire nel diagramma le linee verticali di demarcazione oppure misurare direttamente la differenza (per migliorare la precisione, si suggerisce di ripetere più volte la misura e calcolare il valor medio dei risultati ottenuti).

In questo esempio si ottiene f_1 = 1,059 Hz, f_2 = 1,151 Hz, f_n = 1,097 Hz, f_s = 0,092 Hz, che conferma in pieno la teoria $f_n = (f_1 + f_2) / 2$ = 1,105 Hz e $f_s = | f_1 – f_2 |$ = 0,092 Hz.

Nello **Spettro di frequenza**, si possono far comparire le frequenze e le ampiezze α_+, α_- e α_A. Il modo più facile per determinare la frequenza è trovare i centri di picco.

Teoria

Se sono rispettate alcune particolari condizioni (piccoli spostamenti, peso della molla di accoppiamento trascurabile, attenuazione nulla), le equazioni differenziali del moto dei pendoli sono le seguenti:

$F_1 = ma_1 = –Dx_1 + C(x_2 – x_1)$
$F_2 = ma_2 = –Dx_2 – C(x_2 – x_1)$

$–Dx_i$ (dove D = mg/l) è la forza che fornisce il singolo pendolo e $C(x_2 – x_1)$ è la forza dovuta all'accoppiamento tra i due pendoli. Risolvendo le equazioni differenziali, si ottiene:

$x(t) = A \cos(\omega_1 \cdot t) + B \cos(\omega_2 \cdot t)$

dove ω_1 ed ω_2 sono le frequenze fondamentali. I valori delle costanti A e B dipendono dalle condizioni iniziali:

Nel caso di spostamento in fase, si ha $A = x_0$, B = 0 (oscillazione sinusoidale di pulsazione ω_1)
Nel caso di spostamento in opposizione di fase si ha A = 0, $B = x_0$ (oscillazione sinusoidale di pulsazione ω_2)
Lo spostamento iniziale di un pendolo è dato da $A = B = ½ x_0$.

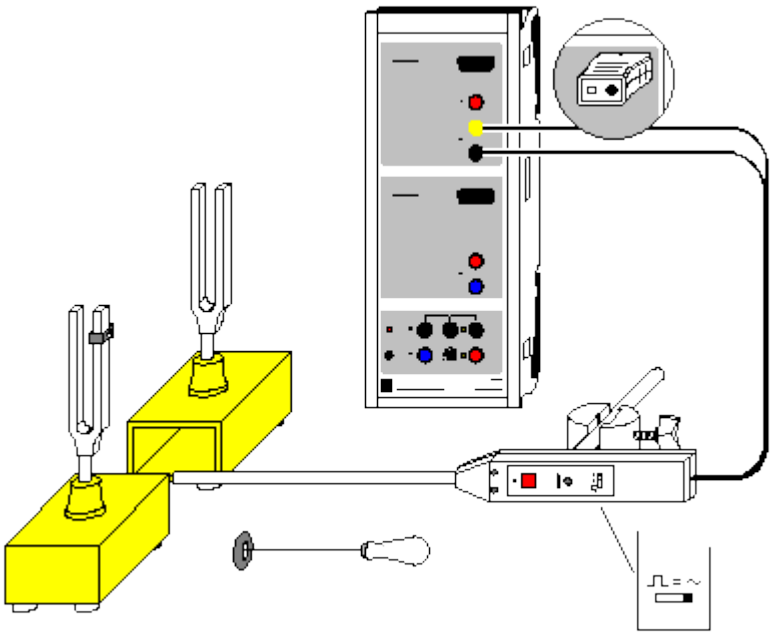
In quest'ultimo caso si ha:

$x(t) = ½ x_0 (\cos(\omega_1 \cdot t) + \cos(\omega_2 \cdot t)) = x_0 \cos(½ \omega_s \cdot t) \cos(\omega_n \cdot t)$

dove $\omega_s = | \omega_1 – \omega_2 |$ ed $\omega_n = ½ (\omega_1 + \omega_2)$ oppure $f_s = | f_1 – f_2 |$ ed $f_n = ½ (f_1 + f_2)$.

Se la differenza delle due frequenze f_1 ed f_2 è molto piccola, questa equazione descrive un'oscillazione di frequenza f_n modulata in ampiezza da una frequenza f_s più bassa, quindi si ha un battimento.

Battimenti acustici



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

In questo esperimento si registrano i battimenti provocati da due diapason che oscillano a frequenze leggermente diverse. Una volta determinate le singole frequenze f_1 ed f_2, la nuova frequenza f_n e la frequenza f_s del battimento, si confrontano tali risultati con i valori teorici

$f_n = ½ (f_1 + f_2)$ ed $f_s = | f_1 – f_2 |$.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Coppia di diapason con cassa di risonanza	414 72
1	Microfono universale	586 26
	con zoccolo	300 11
	o	
1	Microfono S	524 059

1 PC con Windows 98/2000/XP/Vista

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Posizionare i due diapason ed il microfono universale; collegare quest'ultimo all'ingresso A di Sensor-CASSY (ricordarsi di predisporre il microfono in modalità "Segnale" e di chiudere l'interruttore). Modificare leggermente uno dei due diapason collegando un peso addizionale.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Eccitare il primo diapason ed avviare la misura con **F9**.
- Regolare l'intensità del segnale con il controllo microfono.

- Determinare la frequenza f_1 (per es. inserendo le linee verticali di demarcazione nella visualizzazione **Standard** oppure cercando il centro del picco nello **Spettro di frequenza**).
- Cancellare la misura con **F4**.
- Eccitare il secondo diapason ed avviare la misura con **F9**.
- Determinare la frequenza f_2.
- Cancellare la misura con **F4**.
- Eccitare entrambi i diapason con la stessa forza ed avviare la misura con **F9**.

Valutazione dei risultati

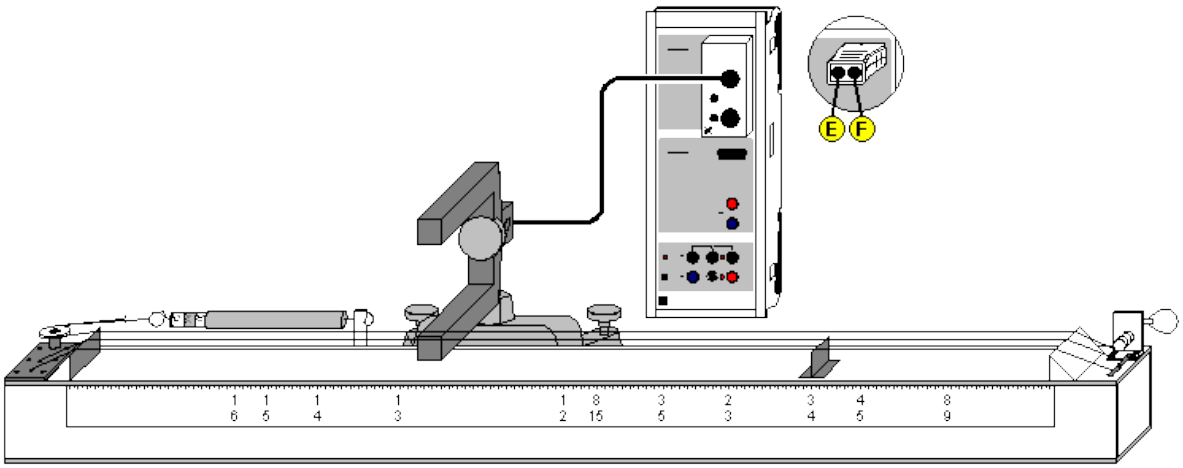
Se i due diapason emettono suoni della stessa intensità, i nodi ed i ventri del battimento risultano molto evidenti. La frequenza fs del battimento si ricava mediante l'intervallo di tempo T_s compreso tra due nodi successivi, poiché $f_s = 1/T_s$.

Per determinare con sufficiente precisione il periodo T_n della nuova oscillazione, si suggerisce di calcolare il valore medio di 10 periodi successivi; noto tale valore, si può determinare il valore della frequenza $f_n = 1/T_n$. Gli intervalli di tempo si possono determinare inserendo le linee verticali nel diagramma oppure misurando direttamente la differenza.

In questo esempio si ottiene $f_1 = 425$ Hz, $f_2 = 440$ Hz, $f_n = 433$ Hz, $f_s = 14{,}5$ Hz; questi risultati confermano in pieno in valori teorici $f_n = ½ (f_1 + f_2) = 432{,}5$ Hz ed $f_s = | f_1 – f_2 | = 15$ Hz.

Cliccando su **Spettro di Frequenza**, si possono leggere le frequenze f_1 ed f_2 dei due diapason e le loro ampiezze. Per determinare i valori delle frequenze senza troppe difficoltà, conviene cercare i centri dei picchi.

Vibrazioni di una fune



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Quando si fa vibrare una fune, la sua lunghezza L è uguale a metà della lunghezza d'onda del modo fondamentale: $L = \lambda/2$. La frequenza f del suono emesso è

$f = c/(2L)$,

dove c è la velocità di fase della fune. Questo valore dipende dalla forza F applicata, dalla sezione A e dalla densità ρ secondo questa relazione:

$c^2 = F/(A\rho)$

In questo esperimento si misura la frequenza f della vibrazione della fune e quindi il tono emesso in funzione della lunghezza L e della forza F applicata. Per misurare il periodo della vibrazione. si utilizza la CASSY come cronometro ad alta risoluzione. In questo modo, viene confermata la validità delle relazioni $f^2 \sim F$ ed $f \sim 1/L$.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Timer box o Timer S	524 034 o 524 074
1	Barriera luminosa a forchetta, raggi infra-rossi	337 46
1	Cavo di collegamento, 6-poli, 1,5 m	501 16
1	Monocordo	414 01
1	Dinamometro di precisione, 100 N	314 201
1	Base di appoggio a V, 20 cm	300 02
1	Asta di sostegno, 10 cm	300 40
1	Asta di sostegno, 25 cm	300 41
1	Morsetto Leybold	301 01
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Montaggio dell'esperimento (vedere figura)

Il periodo della vibrazione T si misura mediante una barriera luminosa a forchetta posizionata tra la cassetta di risonanza del monocordo e la fune. La barriera luminosa è collegata all'ingresso A di Sensor-CASSY mediante il box timer ed il cavo di collegamento a 6 poli.

Note sull'esperimento

Il periodo della vibrazione T si determina senza ambiguità mediante i passaggi della fune attraverso la sua posizione di riposo. Questo si ottiene posizionando la fune in modo tale che il LED rosso che si trova sul lato della barriere luminosa non venga illuminato quando la fune è in posizione di riposo. La barriera luminosa ha due piccole aperture per il raggio infrarosso. I risultati migliori si ottengono se la fune viene posizionata immediatamente sopra l'apertura più piccola (se necessario, ruotare opportunamente la barriera luminosa).

La fune va fatta vibrare parallelamente alla superficie della cassetta di risonanza.

La forza F si misura con il dinamometro di precisione messo al posto del gancio. La tensione della fune sul monocordo si può variare mediante la chiave di accordo. Nel primo esperimento, i migliori risultati si ottengono se prima si regola la forza su un valore di 100 N e poi si esegue la misura partendo dai valori più alti verso quelli più bassi.

Nella misura eseguita con la fune di lunghezza L variabile, la variazione si ottiene spostando il ponticello. Quando si fa vibrare la fune, non toccare con l'altra mano la parte fissa. Per fare una misura ottimale del periodo di vibrazione T, posizionare la barriera luminosa al centro della zona di massima oscillazione.

Esecuzione dell'esperimento

a) Variazione della forza

- Carica settaggi
- Regolare la forza F sul valore desiderato ruotando la chiave di accordo.
- Scrivere nell'apposita colonna della tabella il valore della forza F misurata con il dinamometro.
- Mettere la barriera luminosa sotto la posizione di riposo della fune e verificare se il LED rosso è posizionato correttamente; se necessario spostare ancora la barriera luminosa.
- Fare vibrare la fune (mentre la fune è in vibrazione, il LED si illumina); trasferire immediatamente i risultati nella tabella premendo il tasto **F9**.

b) Variazione della lunghezza

- Carica settaggi
- Regolare la lunghezza della fune sul valore desiderato spostando il ponticello.
- Scrivere il valore della lunghezza della fune nell'apposita colonna della tabella.
- Verificare se il LED rosso è posizionato correttamente; se necessario spostare ancora la barriera luminosa.
- Fare vibrare la fune (mentre la fune è in vibrazione, il LED si illumina); trasferire immediatamente i risultati nella tabella premendo il tasto **F9**.

Valutazione dei risultati

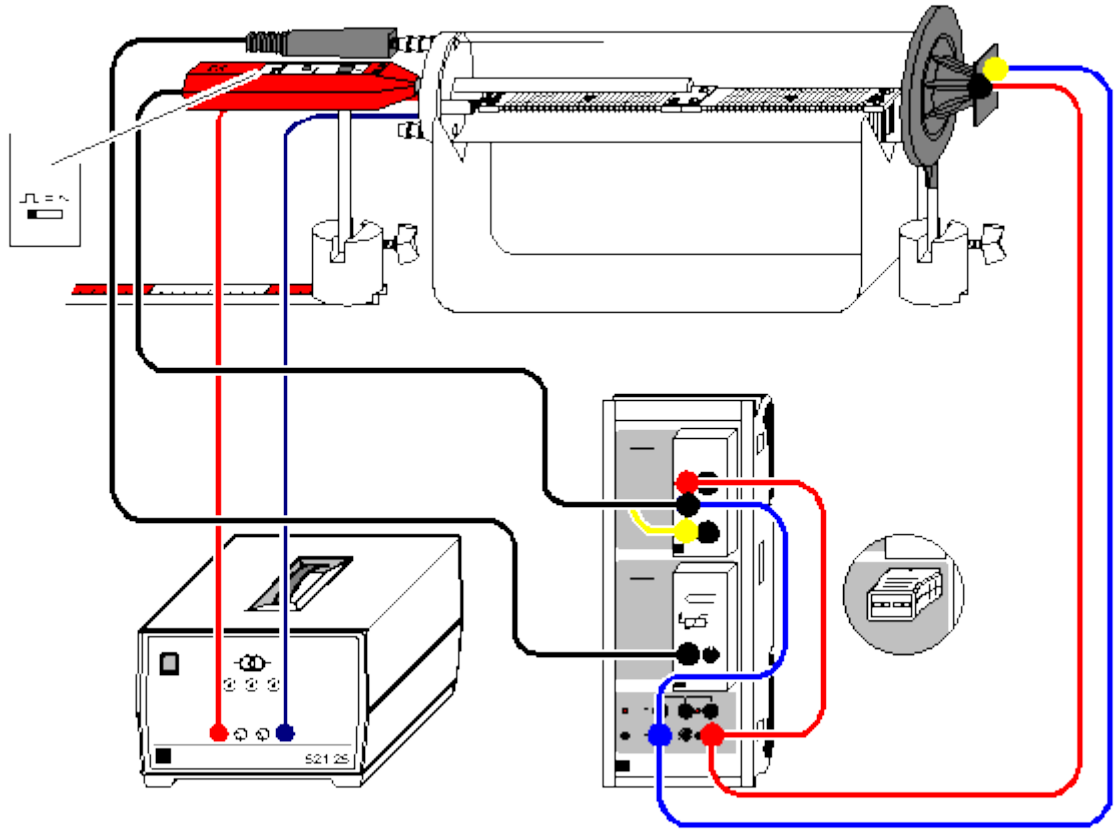
a) Variazione della forza

I diagrammi di T(F) ed f(F) vengono visualizzati direttamente durante la misura. Nel display **Valutazione** si ottiene l'andamento del quadrato della frequenza f in funzione della forza F. La relazione $f^2 \sim F$ si può verificare per interpolazione con una retta per l'origine (pulsante destro del mouse). Si trova che la frequenza della vibrazione e quindi anche il tono emesso dalla fune aumentano all'aumentare della tensione applicata. La frequenza del tono emesso si può diminuire diminuendo il valore della forza.

b) Variazione della lunghezza

I diagrammi di T(L) ed f(L) vengono visualizzati direttamente durante la misura. Nel display **Valutazione** si ottiene l'andamento della frequenza f in funzione di 1/L. La relazione $f \sim 1/L$ si può verificare per interpolazione con una retta per l'origine (pulsante destro del mouse). Questo significa che la frequenza della vibrazione e quindi anche il tono emesso dalla fune aumentano al diminuire della lunghezza.

Velocità del suono nell'aria



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

In questo esperimento si determina la velocità di propagazione di un impulso sonoro nell'aria, di conseguenza si determina anche la velocità del suono poichè la velocità di gruppo e la velocità di fase si possono considerare coincidenti. L'impulso sonoro si ottiene facendo vibrare la membrana di un altoparlante con un impulso di tensione; il movimento della membrana provoca una variazione di pressione dell'aria. L'impulso sonoro viene registrato con un microfono posto ad una distanza prestabilita dall'altoparlante.

Per determinare la velocità del suono c, si misura l'intervallo di tempo compreso tra l'istante in cui l'altoparlante genera l'impulso sonoro e l'istante in cui tale impulso viene registrato dal microfono. Poichè non si può misurare direttamente l'istante in cui l'altoparlante genera l'impulso sonoro, si eseguono due misure, una con il microfono ad una distanza s_1 ed un'altra con il microfono ad una distanza s_2. La velocità del suono si ottiene facendo il rapporto tra la differenza di percorso $\Delta s = s_1 - s_2$ e la corrispondente differenza dei tempi di transito $\Delta t = t_1 - t_2$, quindi si ha $c = \Delta s/\Delta t$.

L'apparecchio per la velocità del suono permette di riscaldare l'aria con una sorgente di calore; inoltre, poichè i moti convettivi dell'aria possono disturbare la misura, l'apparecchio è dotato di un sistema di coibentazione che riduce i disturbi dovuti alle variazioni della temperatura ambiente. In questo sistema la pressione p rimane costante (pressione atmosferica). Se la temperatura T aumenta, la densità ρ del mezzo di propagazione diminuisce mentre la velocità c del suono aumenta.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Timer box	524 034
1	Box temperatura	524 045
1	Sensore di temperatura NiCr-Ni o	666 193

1	Adattatore NiCr-Ni S	524 0673
1	Sensore di temperatura NiCr-Ni, tipo K	529 676
1	Apparecchio per la velocità del suono	413 60
1	Supporto per tubi e bobine	516 249
1	Altoparlante ad alta frequenza	587 07
1	Microfono universale	586 26
1	Trasformatore 12 V/3,5 A, p. es.	521 25
1	Guida metallica graduata, 50 cm	460 97
2	Zoccoli	300 11
1	Coppia di cavi, 25 cm, rosso e blu	501 44
2	Coppie di cavi, 1 m, rosso e blu	501 46
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Montaggio dell'esperimento (vedere figura)

- Inserire la sorgente di calore dell'apparecchio per la velocità del suono nel tubo di plastica e collegarla al coperchio.
- Mettere il tubo di plastica sul supporto per tubi e bobine, quindi spingere l'altoparlante ad alta frequenza nel tubo di plastica in modo da chiuderlo ermeticamente.
- Inserire il microfono universale nel foro centrale del coperchio a circa 1 cm di profondità in modo che si possa spostare lungo il tubo di plastica. Selezionare la modalità "Trigger" con il selettore del microfono universale; ricordarsi di chiudere l'interruttore!
- Mettere la guida metallica graduata sotto lo zoccolo.
- Inserire il timer-box ed il box temperatura rispettivamente nell'ingresso A e nell'ingresso B di Sensor-CASSY. Montare il circuito come mostrato in figura; selezionare la massima tensione d'uscita sul generatore di tensione S.

Note di sicurezza

Il tubo di plastica dell'apparecchio per la velocità del suono si può distruggere se la temperatura raggiunge un valore eccessivo.

- Non superare mai la temperatura di 80 °C.
- Per riscaldare il filamento, non superare la tensione massima di 25 V (circa 5 A).

Esecuzione dell'esperimento

a) Misura a temperatura ambiente

- Carica settaggi
- Memorizzare i risultati delle misure con **F9**.
- Spostare il microfono universale lungo il tubo di plastica e leggere le variazioni Δs della distanza sulla guida metallica graduata.
- Memorizzare i risultati delle misure con **F9**.
- Determinare la velocità del suono con la formula $c = \Delta s/\Delta t$ (determinare sul diagramma il valor medio dei tempi di transito usando **Traccia Valore Medio**).

b) Misura in funzione della temperatura

- Carica settaggi
- Estrarre il microfono universale.
- Determinare di nuovo il tempo di transito Δt_{A1} a temperatura ambiente e, utilizzando il valore c della velocità del suono determinato precedentemente, calcolare la distanza $s = c \cdot \Delta t_{A1}$ tra il microfono e l'altoparlante; scrivere questo valore nella tabella (cliccare sulla prima riga della colonna s).
- Collegare il filamento di riscaldamento al generatore di tensione (12 V circa 3,5 A) tramite i morsetti che si trovano sul coperchio dell'apparecchio.
- Salvare con **F9** il valore corrente del tempo di transito (per es. ogni 5 °C).

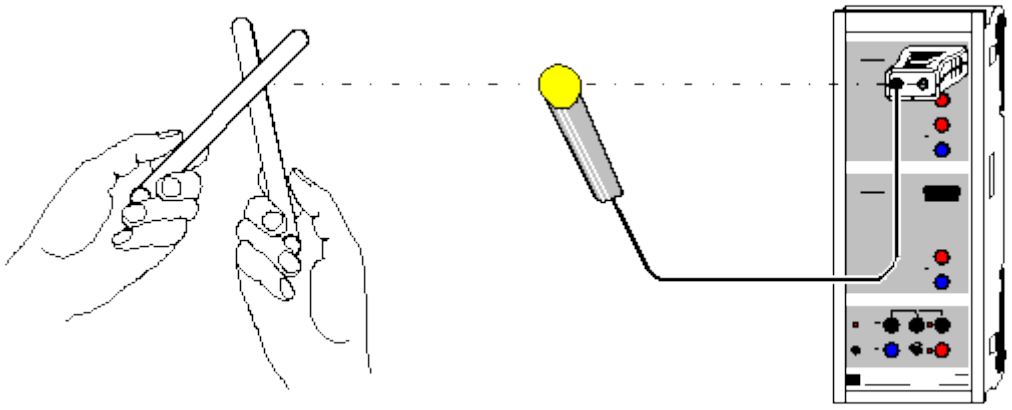
Valutazione dei risultati

Ogni volta che in a) si determina la velocità del suono a temperatura ambiente ed in b) la distanza s tra microfono ed altoparlante, il software calcola immediatamente l'esatto valore c della velocità del suono per ciascun valore Δt_{A1} del tempo di transito. Mentre vengono eseguite le misure, in **Tempera-**

tura sono visualizzati i valori della velocità del suono in funzione della temperatura. Interpolando i risultati con l'andamento lineare, si può verificare facilmente che essi confermano il valore teorico

$c = (331{,}3 + 0{,}6 \cdot \vartheta/°C)\ m/s$

Determinazione della velocità del suono nell'aria con 2 microfoni



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Se Pocket-CASSY viene usata su vecchi computers, l'impulso di stop alcune volte può essere riconosciuto troppo tardi. In questo caso, la soluzione consiste nel ridurre la distanza fra I due microfoni oppure usando un nuovo computer con Windows XP/Vista.

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

In questo esperimento viene calcolata la velocità di propagazione di un impulso sonoro, e quindi- se sono uguali le velocità di gruppo e di fase – la velocità del suono. L'impulso sonoro è prodotto battendo fra loro due aste di sostegno. Questo provoca una fluttuazione della pressione nell'aria. L'impulso sonoro viene registrato in successione da due microfoni che sono ad una distanza Δs l'uno dall'altro.

Per la determinazione della velocità del suono c viene misurato l'intervallo di tempo Δt fra le registrazioni dei due microfoni. La velocità del suono è allora ottenuta dalla differenza di percorso Δs e dalla differenza di tempo Δt associata. E' $c = \Delta s/\Delta t$.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Microfono S	524 059
1	Metro di legno	311 03
2	Aste di sostegno, 47 cm	300 42
1	Microfono condensatore con 3,5 mm jack p. es. da un rivenditore di computer	
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Il microfono esterno viene posto davanti al microfono interno a una distanza $\Delta s = 0{,}50$ m. Quando viene prodotto il suono con le aste di sostegno, la sorgente sonora si trova sulla direttrice dei due microfoni. Inoltre l'accoppiamento di suoni attraverso la tavola dovrebbe essere il più basso possibile altrimenti si possono misurare velocità molto elevate.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Avviare la misura con **F9**.
- Effettuare varie misure sbattendo le aste di sostegno. In questo modo verrebbero eliminati i rumori di fondo che potrebbero influire sulla misura.
- Fermare la misura con **F9**.
- Aumentare la distanza Δs fra I microfoni.

- Ripetere la misura.

Valutazione

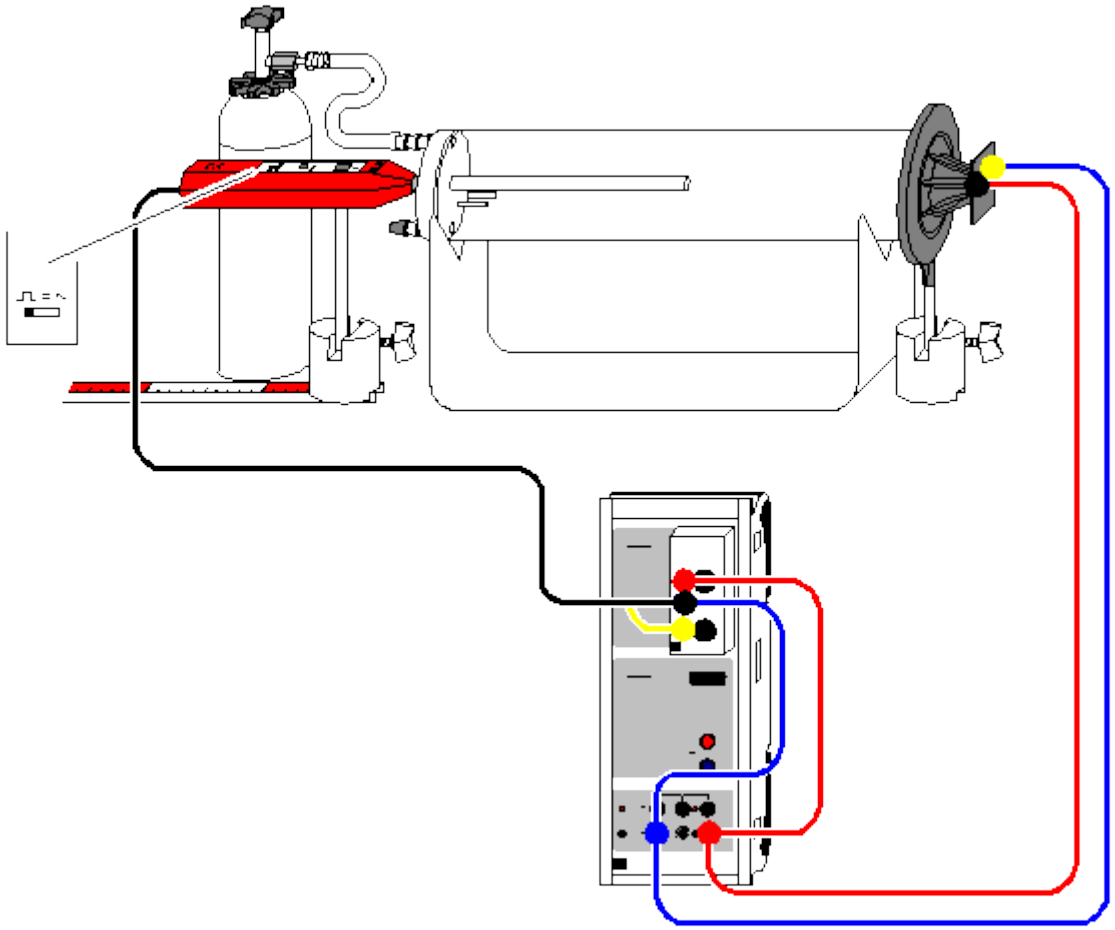
Durante la misura, rumori di fondo possono influire negativamente sulle misure, che possono essere facilmente cancellati. Per questo premere sul valore difettoso e cancellarlo (barra spaziatrice).

Dopo determinare i valori medi dei tempi nel diagramma usando **Traccia valori medi**. C'è un modo più comodo di prendere ogni valore medio nella visualizzazione **Velocità del suono** (pulsante del mouse) dopo che è stato calcolato prendendolo dalla Linea di stato e inserendolo nella nuova tabella (Trascina & Incolla).

In aggiunta, viene inserita nella colonna corrispondente la distanza Δs fra I due microfoni, da cui è generato un diagramma $\Delta s(\Delta t)$. La pendenza della linea retta in questo diagramma è $c = \Delta s/\Delta t$.

La velocità del suono ottenuta alla temperatura della stanza è circa c = 346 m/s.

Velocità del suono nei gas



Carica esempio

Fare attenzione nel maneggiare le bombolette di gas Minican

- Le bombolette sono sotto pressione; fare uscire il gas usando solo la valvola di regolazione fine (660 980).
- Proteggere le bombolette dalla luce solare o dalle temperature superiori a 50 °C.
- Non forzare l'apertura delle bombolette.
- Eliminare le bombolette solo quando sono completamente vuote.
- Non ricaricare le bombolette.

Descrizione dell'esperimento

Questo esperimento serve a determinare la velocità di propagazione di un impulso sonoro attraverso il biossido di carbonio e attraverso i gas nobili elio e neon. Poiché si può ritenere che la dispersione delle onde sonore nei gas sia praticamente trascurabile, – infatti, con buona approssimazione, quando il suono si propaga nei gas la velocità di gruppo e la velocità di fase sono quasi uguali – la velocità del suono c si determina misurando semplicemente la velocità di propagazione di un impulso sonoro:

$c^2 = p\,\kappa/\rho$ con $\kappa = C_p/C_V$

κ: esponente adiabatico
ρ: densità
p: pressione
C_p, C_V: calori specifici

L'impulso sonoro si ottiene facendo vibrare la membrana di un altoparlante con un impulso di tensione. Il movimento della membrana provoca una variazione di pressione nel gas che viene registrata da un microfono.

Per determinare la velocità del suono c in un mezzo gassoso, si misura l'intervallo di tempo t compreso tra l'istante in cui l'altoparlante genera l'impulso sonoro e l'istante in cui tale impulso viene registrato dal microfono. Poiché non si può localizzare esattamente l'impulso sonoro generato dall'altoparlante, bisogna determina prima la distanza effettiva misurando la velocità del suono caria nell'aria. Per fare questo, si eseguono due misure una con il microfono in posizione s_{A1} ed un'altra con il microfono in posizione s_{A2}. La velocità del suono si ottiene facendo il rapporto tra la differenza dei percorsi $\Delta s = s_{A1}-s_{A2}$ e la corrispondente differenza dei tempi di transito $\Delta t = t_1-t_2$: caria = $\Delta s/\Delta t$. Con questo valore si calcola la distanza effettiva $s_{eff} = c_{aria} \cdot t_1$ nella posizione s_{A1}; noto il valore della distanza, si può eseguire la misura della velocità del suono in un gas.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Timer box	524 034
1	Apparecchio per la velocità del suono	413 60
1	Supporto per tubi e bobine	516 249
1	Altoparlante ad alta frequenza	587 07
1	Microfono universale	586 26
1	Guida metallica graduata, 50 cm	460 97
2	Zoccoli	300 11
1	Bomboletta di gas Minican, biossido di carbonio	660 999
1	Bomboletta di gas Minican, elio	660 984
1	Bomboletta di gas Minican, neon	660 985
1	Valvola di regolazione fine per bombolette Minican	660 980
1	Tubo al silicone, 7 x 1,5 mm, 1 m	667 194
1	Tubo di gomma, d = 4 mm	604 481
1	Raccordo	604 510
1	Coppia di cavi, 25 cm, rosso e blu	501 44
1	Coppia di cavi, 100 cm, rosso e blu	501 46
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Montaggio dell'esperimento (vedere figura)

- Mettere il tubo di plastica (senza bobine di riscaldamento) sul supporto per tubi e bobine e ruotarlo in modo che i due ugelli si trovino uno sopra l'altro.
- Spostare l'altoparlante vicino al tubo di plastica in modo da chiuderlo ermeticamente.
- Inserire il microfono universale nel foro centrale del coperchio a circa 1 cm di profondità in modo che si possa spostare lungo il tubo di plastica. Selezionare la modalità "Trigger" con il selettore del microfono universale; ricordarsi di chiudere l'interruttore del microfono.
- Mettere la guida metallica graduata sotto lo zoccolo.
- Inserire il timer box nell'ingresso A di Sensor-CASSY e montare il circuito come indicato in figura; selezionare la massima tensione d'uscita sul generatore di tensione S.

Note sull'esperimento

Per evitare indesiderate perdite di gas, chiudere la valvola di regolazione fine della bomboletta ruotando verso destra la manopola corrispondente fino allo stop.

Una fuga di gas provoca un'alterazione dei risultati della misura; perciò, bisogna inserire l'altoparlante in modo da chiudere più ermeticamente possibile il tubo di plastica.

Per riempire il tubo di plastica con biossido di carbonio, infilare il tubo al silicone nell'ugello inferiore del tubo di plastica. In questo modo, quando viene immesso il biossido di carbonio l'aria, che è più leggera, viene spinta verso l'alto ed esce dal tubo attraverso l'ugello superiore per cui, alla fine, l'aria viene completamente sostituita dal gas. Quando si vuole riempire il tubo di plastica con i gas nobili elio e neon, si procede in modo diverso; infatti, l'elio e il neon vengono immessi attraverso l'ugello superiore mentre l'aria, che è più pesante, viene spinta fuori dal tubo attraverso l'ugello inferiore.

In riferimento alle misure con elio e neon, va tenuto presente che il sistema di misura non ha una chiusura perfettamente ermetica, per cui parte del gas può uscire dal tubo di plastica. Questo compor-

ta una presenza relativamente elevata di aria che altera i risultati della misura; per ridurre tale inconveniente, bisogna eseguire la misura più velocemente possibile.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

Prima di tutto, determinare il valore della distanza effettiva s_{eff}:

- Inserire il microfono universale nel tubo di plastica ad una profondità di circa 1 cm, leggere la posizione s_{A1} e scrivere il risultato della lettura nella prima riga della tabella. Scrivere il tempo di transito Δt_{A1} nella tabella con **F9**. Ripetere più volte la misura del tempo di transito per verificare la precisione del risultato.
- Inserire completamente il microfono universale nel tubo di plastica, leggere la posizione s_{A2} e scrivere il risultato della lettura nella riga successiva della tabella. Scrivere il tempo di transito Δt_{A2} nella tabella con **F9**. Ripetere più volte la misura del tempo di transito per verificare la precisione del risultato.
- Per determinare il valore medio dei tempi di transito t_1 e t_2, selezionare Traccia Valore Medio e determinare la velocità del suono nell'aria caria = $\Delta s/\Delta t = (s_{A1}-s_{A2})/(t_1-t_2)$.
- Determinare la distanza effettiva s_{eff} = caria · t_1; per trovare questo valore, tramite settaggi s_{eff} (pulsante destro del mouse su s_{eff}), inserire i tempi di transito t_1 e t_2 trovati precedentemente nella formula $(s_{A1}-s_{A2})/(t_1-t_2)*t_1$.

A questo punto, si può determinare la velocità del suono nel biossido di carbonio, nell'elio e nel neon:

- Riportare il microfono universale nella posizione s_{A1}.
- Introdurre il gas attraverso l'ugello. Aprire molto lentamente la valvola di regolazione fine in modo che il gas cominci a circolare.
- Leggere il valore della velocità del suono, scrivere su **Input** il risultato della lettura e trasferirlo nella tabella oppure fare l'inserimento con trascina e incolla. Scrivere nella tabella anche il valore della densità ρ:

Gas	Densità ρ	Esponente adiabatico $\kappa = C_p/C_V$
Biossido di carbonio	1,98 kg/m^3	1,29
Idrogeno (aria)	1,25 kg/m^3	1,40
Neon	0,90 kg/m^3	1,64
Elio	0,18 kg/m^3	1,63

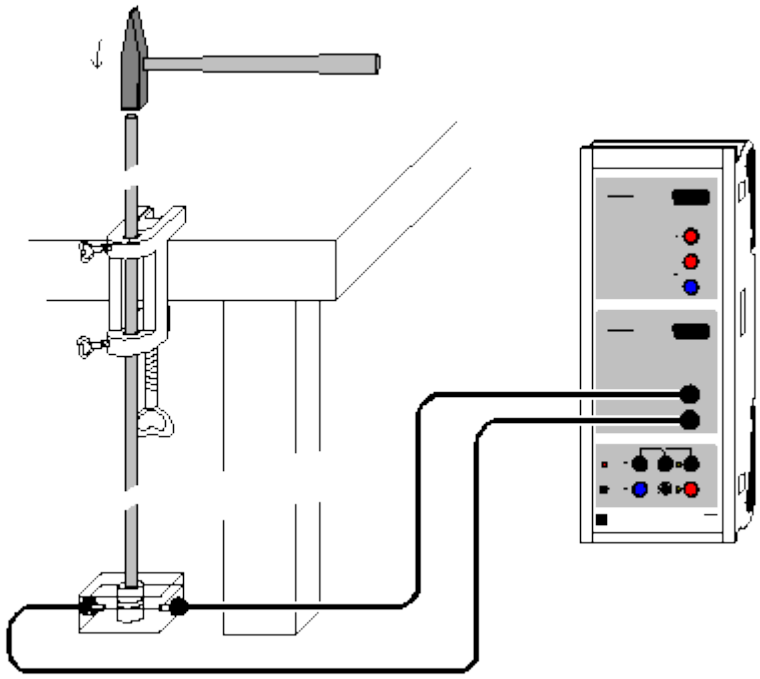
Valutazione dei risultati

La relazione tra c^2 e $1/\rho$ compare in **Valutazione**. Ad esempio, si può inserire la formula 101300*1,4*x in Interpolazione e tracciare la retta corrispondente al coefficiente adiabatico κ=1,4 dell'aria a pressione normale.

È possibile che i risultati della misura non seguano un andamento perfettamente lineare; in particolare, questo avviene con l'elio che è un gas molto volatile poiché la sua densità è minore di quella dell'aria.

La velocità del suono dipende principalmente dalle variazioni della densità ρ dei gas poiché le variazioni degli esponenti adiabatici C_p/C_V sono relativamente piccole.

Velocità del suono nei corpi solidi



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Scopo di questo esperimento è la determinazione della velocità del suono nell'alluminio, nel rame, nell'ottone e nell'acciaio. Per questa misura si utilizzano le riflessioni multiple di un breve impulso sonoro agli estremi di un'asta. L'impulso si ottiene percuotendo con un martello l'estremo superiore di un'asta. Inizialmente l'impulso si propaga dall'alto verso il basso, quindi, viene riflesso più volte ai due estremi dell'asta. Se Δt è l'intervallo di tempo impiegato dall'impulso per percorrere l'asta nei due sensi e s è la lunghezza dell'asta, la velocità del suono è data da

$c = 2s / \Delta t$.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Serie di 3 aste metalliche	413 651
1	Asta di sostegno, 150 cm	300 46
1	Cristallo piezoelettrico	587 25
1	Morsetto da tavolo, semplice	301 07
2	Cavi di collegamento, 2 m, neri	501 38
1	Martello	
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Le aste metalliche appoggiano sul cristallo piezoelettrico il quale converte le onde di pressione degli impulsi sonori in un segnale elettrico. Questo segnale viene inviato all'ingresso B di Sensor-CASSY.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Avviare la misura con **F9** (il software è in attesa del segnale di trigger).
- Percuotere con il martello l'estremo superiore della prima asta metallica (per generare il segnale di trigger).
- Ripetere l'esperimento con un'asta metallica differente oppure cancellare le misure errate con **Cancella Ultima Serie di Misure** (pulsante destro del mouse).

Valutazione dei risultati

Si possono determinare gli intervalli di tempo Δt minimi o massimi, per esempio, cercando il centro del picco con le linee verticali oppure misurando direttamente la differenza. Poiché Δt è l'intervallo di tempo necessario per percorrere l'asta nei due sensi, nota la lunghezza s dell'asta, la velocità del suono c si calcola con questa formula:

$c = 2s / \Delta t$.

Dall'esperimento si ottengono i seguenti risultati:

Metallo	Misura	Valore teorico
Ottone	3530 m/s	3500 m/s
Rame	3900 m/s	3800 m/s
Alluminio	5000 m/s	5110 m/s
Acciaio	5170 m/s	5100 m/s

Analisi di Fourier e simulazione dei segnali

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

L'analisi armonica è un metodo al quale si ricorre spesso in molte applicazioni in cui si utilizzano (o si misurano) segnali variabili nel tempo. Ad esempio, in acustica è molto importante conoscere esattamente la distribuzione degli ultrasuoni in modo da poter ricostruire artificialmente un suono o la voce.

In questo esperimento, si esegue l'analisi di Fourier di semplici segnali periodici; essa serve come introduzione ad un argomento più generale come la trasformata di Fourier. Inizialmente, si esegue la trasformazione di Fourier simulando numericamente il segnale mediante il calcolo delle frequenze e delle ampiezze delle sue componenti (analisi di Fourier). In base a questa analisi armonica, mediante il teorema di Fourier, si passa successivamente alla ricostruzione del segnale variabile nel tempo; quindi si fa il confronto tra il risultato ottenuto mediante lo sviluppo in serie di Fourier e il segnale originario simulato numericamente (sintesi di Fourier).

Elenco delle apparecchiature

1	CASSY Lab	524 200
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Montaggio dell'esperimento

Nota: l'esperimento consiste in una simulazione dell'analisi di Fourier utilizzando CASSY Lab. Per eseguire l'esperimento con segnali elettrici aventi le stesse forme d'onda, vedere esperimento successivo. I segnali S_1 analizzati in questo esperimento sono generati dalle seguenti funzioni:

Segnale triangolare: S_1 = 4*(1-2*saw(f*t))
Onda quadra: S_1 = 4*(2*square(f*t)-1)

di frequenza f = 0,5 Hz.

Note sulla trasformata di Fourier

Un segnale S_1 variabile con continuità nel tempo viene campionato mediante un computer ad intervalli di tempo regolari; quindi si misura il suo valore del segnale nell'istante in cui viene fatto il campionamento. In questo modo, si ottiene un segnale digitalizzato che può essere ulteriormente elaborato (miglioramento del rapporto segnale/rumore mediante la trasformata di Fourier, rigenerazione del segnale, ecc.). In base al teorema del campionamento, si stabilisce l'intervallo di tempo che intercorre tra una misura e l'altra in modo da ricostruire il segnale utilizzando i diversi campioni (valori). Affinché il risultato della digitalizzazione contenga un numero sufficiente di valori, è necessario che la frequenza f_s di campionamento sia almeno il doppio della frequenza massima f_{max} del segnale in esame; il valore della frequenza f_s determina anche la larghezza di banda dello spettro. Se la condizione $f_s \geq 2f_{max}$ non è soddisfatta, cioè se la digitalizzazione viene fatta con una frequenza di campionamento f_s più bassa, non si riesce più a ricostruire la forma d'onda del segnale originario (aliasing). La frequenza di campionamento f_s del segnale è stabilita dall'intervallo di tempo $\Delta t=1/f_s$ assegnato in Parametri della Misura (**F5**).

Il teorema di Fourier dice che un segnale periodico S_1 si può rappresentare mediante la somma di funzioni seno e coseno di ampiezza opportuna. Per l'onda triangolare e l'onda quadra utilizzate in questo esperimento, gli sviluppi in serie di S_1 con funzioni trigonometriche fino al 9° ordine sono i seguenti:

Onda triangolare:

S_3 = 4*8/3.14^2 * (cos(360*f*t) + 1/9*cos(360*3*f*t) + 1/25*cos(360*5*f*t) + 1/49*cos(360*7*f*t)) + 1/81*cos(360*9*f*t)

Onda quadra:

S_3 = 4*4/3.14 * (sin(360*f*t) + 1/3*sin(360*3*f*t) + 1/5*sin(360*5*f*t) + 1/7*sin(360*7*f*t) + 1/9*sin(360*9*f*t)

Al segnale periodico S_1, corrisponde uno spettro di frequenza discreto formato da righe di ampiezza diversa. In generale, se si estende questa scomposizione ai segnali non periodici, si ottiene l'integrale

di Fourier; in questo caso, al segnale S_1 variabile nel tempo corrisponde uno spettro di frequenza F_1 continuo.

L'elaborazione numerica dello spettro di frequenza F_1 è particolarmente utile se si prende come riferimento un segnale digitalizzato di $N=2^p$ valori. In questo caso, bisogna eseguire circa $N \cdot \log2(N)$ operazioni aritmetiche invece di N^2 circa. Questo procedimento richiede un tempo minore e costituisce la cosiddetta trasformata di Fourier semplificata (FFT).

CASSY Lab valuta lo spettro di frequenza F_1 utilizzando un algoritmo di questo tipo. Infatti, prima di tutto vengono valutati i diversi valori ottenuti con la misura trascurando i valori estremi (0 agli estremi, massimo al centro, finestra Kaiser-Bessel (4.0)). Per avere a disposizione sempre 2^p punti sperimentali, i valori eventualmente mancanti vengono sostituiti con degli zeri.

Come risultato della FFT, CASSY Lab visualizza complessivamente N/2 ampiezze (le differenze di fase non vengono prese in considerazione). Tale numero costituisce un "eccesso" di ampiezze, cioè $A_i := A_{i-1} + A_i + A_{i+1}$, ma in questo modo i picchi risultano più netti e quindi più vicini all'andamento teorico. Senza tale eccesso, la determinazione di un'ampiezza, così come viene eseguita in questo esperimento, richiederebbe il calcolo della somma di tutte le ampiezze di un picco.

L'uso della FFT per l'analisi armonica è condizionato da due limiti. Il primo è dato dalla relazione che intercorre tra la frequenza f_{max} del segnale da analizzare e la frequenza di campionamento f_s:

$f_{max} = f_s/2$.

In questo caso, dopo il campionamento, le frequenze maggiori di f_{max} si trasferiscono nello spettro di frequenza compreso tra zero e f_{max} dove si sovrappongono alle componenti del segnale utile alterandone la forma d'onda. La variazione della forma d'onda del segnale dovuta a questo fenomeno si chiama effetto aliasing.

Il secondo limite è dato dal fatto che la risoluzione Δf dello spettro di frequenza (= intervallo di frequenza che separa due righe adiacenti) dipende dalla frequenza di campionamento f_s:

$\Delta f = f_{max}/(N/2-1) = f_s/(N-2) = 1/\Delta t/(N-2) \approx 1/T$

con $T = (N-1)\cdot\Delta t$.

Questo significa che per aumentare la risoluzione dello spettro di frequenza bisogna aumentare la frequenza di campionamento.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Con il mouse, selezionare il valore di frequenza f desiderato.
- Registrare con **F9** i valori sperimentali necessari per la simulazione della funzione S_1. Se la simulazione dura 50 s vengono registrati 500 valori (Δt = 100 ms).

Aumentando il tempo di registrazione, aumenta la risoluzione di frequenza della FFT; se il tempo di registrazione diminuisce, diminuisce anche la risoluzione.

Valutazione dei risultati

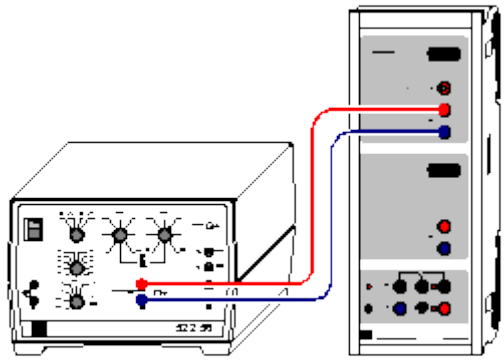
L'andamento del segnale $S_1(t)$ simulato numericamente viene visualizzato già durante la misura. Dopo la simulazione, nello **Spettro di Frequenza** si ottiene la trasformata di Fourier F_1.

Lo spettro di frequenza presenta dei picchi in corrispondenza dei multipli dispari della frequenza del segnale f, cioè f, 3*f, 5*f, 7*f, ecc.. Le ampiezze dei picchi si possono leggere cliccando sulla curva oppure si ricavano dalle coordinate del display.

Per fare l'analisi del segnale, tramite Settaggi A1, A3, A5, A7 e A9, utilizzare queste 5 ampiezze come coefficienti delle funzioni sin(360*n*f*t). Nel display **Analisi di Fourier**, compare l'andamento in funzione del tempo dei singoli termini A_1, A_3, A_5, A_7 e A_9.

Nel diagramma **Sintesi di Fourier**, si può determinare sperimentalmente la serie $S_2 = A_1 + A_3 + A_5 + A_7 + A_9$ e confrontarla sia con la serie teorica di Fourier S_3 sia con la funzione S_1 simulata numericamente. Si nota che in pratica il segnale periodico S_1 è approssimato in maniera soddisfacente dal polinomio S_2 o dal polinomio S_3 che contengono entrambi solo cinque termini.

Analisi di Fourier dei segnali di un generatore di funzioni



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

L'analisi armonica è un metodo al quale si ricorre spesso in molte applicazioni in cui si utilizzano (o si misurano) segnali variabili nel tempo. Ad esempio, in acustica è molto importante conoscere esattamente la distribuzione degli ultrasuoni in modo da poter ricostruire artificialmente un suono o la voce. In particolare, l'analisi di Fourier si utilizza nel campo delle misure per controllare la compatibilità elettromagnetica (EMC) dei dispositivi elettronici.

In questo esperimento, si esegue l'analisi di Fourier di semplici segnali periodici; essa serve come introduzione ad un argomento più generale come la trasformata di Fourier. In particolare, si analizzano i segnali elettrici (analogici) di un generatore di funzioni e si calcola la trasformata di Fourier del segnale digitalizzato. Dallo spettro di frequenza si ricavano le ampiezze delle diverse armoniche (analisi di Fourier) e i risultati ottenuti vengono confrontati con i valori teorici.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Generatore di funzione P	522 56
1	Coppia di cavi, 50 cm, rosso e blu	501 45
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Montaggio dell'esperimento (vedere figura)

Collegare all'ingresso A di Sensor CASSY il segnale fornito dal generatore di funzioni.

Nota: Questo esperimento affronta l'analisi di Fourier del segnale digitalizzato fornito dal generatore di funzioni. Per ciò che riguarda l'analisi e la sintesi di Fourier dei segnali aventi la stessa forma d'onda, vedere l'esperimento precedente sulla simulazione dei segnali.

Note sull'esperimento

In alcuni generatori di funzioni, bisogna annullare completamente la componente DC per non introdurre distorsioni nello spettro di frequenza.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Selezionare sul generatore di funzioni la forma d'onda desiderata e una frequenza di circa 500 Hz (offset DC a zero).
- Per registrare il segnale, avviare la misura con **F9**.
- In base alla frequenza del segnale, per mezzo della finestra Parametri della Misura (**F5**), regolare la velocità di campionamento (periodo) e il numero di campionamenti in modo da ottenere una sufficiente risoluzione dello spettro di frequenza.

Valutazione dei risultati

Durante la misura, viene visualizzato in forma numerica il segnale analogico $U_{A1}(t)$ del generatore di funzioni. Eseguita la registrazione del segnale U_{A1}, nel display **Spettro di Frequenza** è disponibile la trasformata di Fourier di U_{A1} e quindi si può eseguire l'analisi armonica

Per determinare le ampiezze delle varie armoniche, seguire questo procedimento:

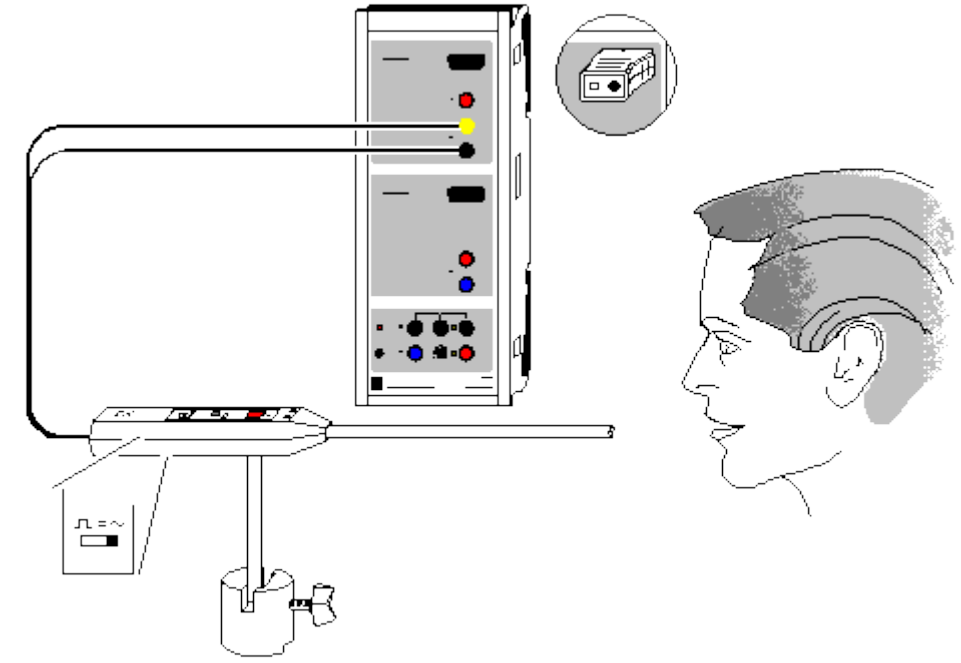
- Selezionare il display **Spettro di Frequenza** e determinare le ampiezze delle armoniche di ordine N con una linea orizzontale (**Alt+H**).
- Andare nel display **Valutazioni** e trasferire con il mouse (trascina e incolla) il valore delle ampiezze dalla linea di stato nella colonna A della tabella; inserire anche l'ordine N della N^{ma} armonica.

Per ciascuna forma d'onda del segnale, con una interpolazione libera (**Alt+F**) si possono confermare le formule teoriche dell'ampiezza delle singole armoniche approssimandole, rispettivamente, con le iperboli A/x^2 (onda triangolare: N = 1, 3, 5, ...) o A/x (onda quadra: N = 1, 3, 5, ...; dente di sega: N = 1, 2, 3, 4, ...). Oppure, mediante calcoli teorici, si può verificare il legame tra le singole ampiezze e l'ordine N corrispondente modificando l'asse x in $1/x^2$ (onda triangolare) o 1/x (onda quadra, dente di sega) ed interpolando con una retta per l'origine.

In base alla forma d'onda del segnale selezionato, nello spettro di frequenza sono presenti anche altre piccole componenti comprese tra quelle previste teoricamente (per es. tra N = 1, 3, 5, ... nel caso del segnale triangolare). Questo dipende dal fatto che la forma d'onda del segnale non è ideale e dal fatto che il segnale non è perfettamente periodico.

Nota: come esempio sull'uso di Power CASSY come generatore di funzioni, vedere l'esperimento riguardante la sintesi dei suoni.

Analisi armonica del suono



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Scopo di questo esperimento è l'analisi armonica di Fourier di suoni con tonalità e timbro diverso (per esempio la voce umana o il suono di uno strumento musicale). Lo spettro di frequenza mostra la presenza della frequenza fondamentale f_0 e delle sue armoniche superiori.

La diversità della voce umana dipende dalla sua composizione spettrale. La frequenza fondamentale f_0 caratterizza il timbro di voce; il suo valore si aggira sui 200 Hz per i toni alti e sugli 80 Hz per i toni bassi. Il tono della voce umana e quello degli strumenti musicali dipende dal modo in cui sono eccitate le diverse armoniche.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Microfono universale	586 26
	con zoccolo	300 11
	o	
1	Microfono S	524 059
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Collegare il microfono universale all'ingresso A di Sensor-CASSY (ricordarsi di predisporre il microfono in modalità "Segnale" e di chiudere l'interruttore)

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Avviare la misura con **F9.**
- Selezionare la visualizzazione **Standard** e regolare l'intensità del segnale con il controllo microfono.

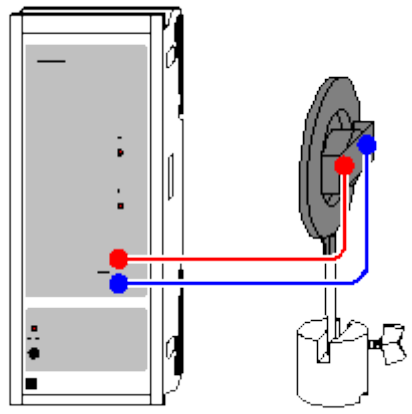
- Registrare suoni differenti e confrontarli fra loro (**Standard** mostra la forma d'onda dei segnali, **Spettro di Frequenza** mostra l'analisi di Fourier).
- Per arrestare la misura, disattivare **Ripetere Misura** attraverso Parametri di Misura oppure premere **F9** al termine della registrazione.
- Per confrontare i diversi spettri di frequenza, selezionare **Aggiungi Nuova Serie di Misure** attraverso Parametri di Misura ed iniziare una nuova misura con **F9**.

Valutazione dei risultati

La frequenza fondamentale e le varie armoniche si possono determinare facilmente in **Spettro di Frequenza** (cliccare con il mouse) mediante visualizzazione coordinate oppure cercando il centro dei picchi. Le ampiezze delle varie armoniche determinano la tonalità del suono registrato.

Poiché l'orecchio umano percepisce l'intensità dei suoni con legge logaritmica, al posto della rappresentazione lineare, conviene ricorrere alla visualizzazione logaritmica dello spettro di frequenza poiché si adatta meglio alla curva di sensibilità dell'orecchio. La rappresentazione logaritmica si seleziona cliccando con il pulsante destro del mouse sull'asse y dello spettro di frequenza (aumentare il limite inferiore, per es. a –3).

Sintesi dei suoni



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

L'esperimento consiste nel generare suoni di timbro e tono diverso dopo aver definito la frequenza fondamentale f_0 e nel determinare il rapporto tra l'ampiezza della fondamentale e le sue armoniche. Il risultato viene visualizzato come oscillogramma e come spettro di frequenza; è anche possibile riprodurre acusticamente le diverse tonalità.

L'esperimento permette di verificare che il timbro di un suono dipende dalle armoniche che vengono eccitate e nello stesso tempo mostra che è possibile ottenere un segnale periodico mediante la sintesi armonica di segnali sinusoidali.

Elenco delle apparecchiature

1	Power-CASSY	524 011
1	CASSY Lab	524 200
1	Altoparlante a larga banda	587 08
1	Zoccolo	300 11
1	Coppia di cavi, 1 m, rosso e blu	501 46
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Collegare l'altoparlante all'uscita del Power-CASSY.

Esecuzione dell'esperimento

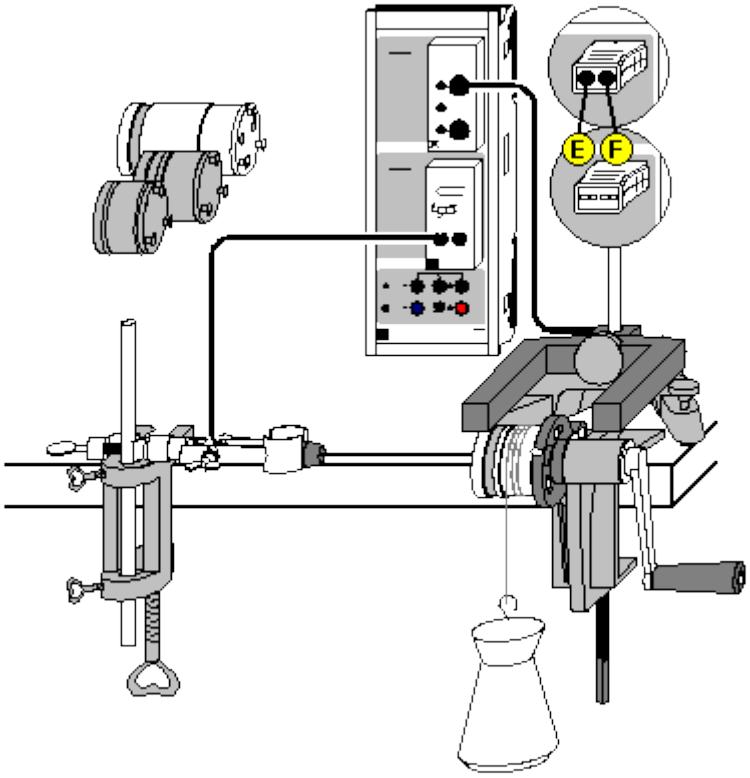
Carica settaggi

- Inviare all'altoparlante un onda quadra ottenuta mediante una combinazione lineare di segnali sinusoidali. La formula che definisce questa forma d'onda è la seguente **synth(1:0:1/3:0:1/5:0:1/7:0:1/9:0:1/11:0:1/13:0:1/15:0:1/17:0:1/19).** Questa formula è l'abbreviazione della formula estesa **1***sin(360*x)+ **0***sin(2*360*x)+ **1/3***sin(3*360*x)+ **0***sin(4*360*x)+ **1/5***sin(5*360*x)+ **0***sin(6*360*x)+ **1/7***sin(7*360*x)+ **0***sin(8*360*x)+ **1/9***sin(9*360*x)+ **0***sin(10*360*x)+ **1/11***sin(11*360*x)+ **0***sin(12*360*x)+ **1/13***sin(13*360*x)+ **0***sin(14*360*x)+ **1/15***sin(15*360*x)+ **0***sin(16*360*x)+ **1/17***sin(17*360*x)+ **0***sin(18*360*x)+ **1/19***sin(19*360*x), anche essa inseribile.
- In Settaggi U1 si può modificare l'ampiezza delle singole armoniche. È anche possibile assegnare la frequenza e l'ampiezza della fondamentale. Avviata la misura con il tasto **F9**, si può immediatamente ascoltare e vedere i risultati di tali modifiche.
- Per eseguire la sintesi di un segnale triangolare, si può utilizzare la formula **synth(1:0:-1/3^2:0:1/5^2:0:-1/7^2:0:1/9^2:0:-1/11^2:0:1/13^2)**. Non è necessario scrivere questa formula per esteso, ma è sufficiente copiarla dal testo ed inserirla in formula box (pulsante destro del mouse).

Valutazione dei risultati

Eseguita la registrazione con **F9**, si può osservare immediatamente le variazioni di ampiezza delle singole armoniche visualizzando lo **Spettro di Frequenza**

Conversione dell'energia meccanica in energia termica



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Norme di sicurezza

Verificare che la base di appoggio dell'apparecchio non venga danneggiata da una caduta imprevista del peso di 5 kg.

Descrizione dell'esperimento

L'energia è una grandezza fisica di fondamentale importanza e si può convertire in modo equivalente da una forma all'altra. In un sistema chiuso, durante un processo di trasformazione, è valido il principio di conservazione dell'energia.

Questo esperimento serve a dimostrare sperimentalmente l'equivalenza tra energia meccanica E_m ed energia termica E_{th}. L'energia meccanica E_m viene fornita azionando una manovella la cui rotazione serve a vincere la forza di attrito. Questa azione provoca un aumento di temperatura del calorimetro e di conseguenza anche un aumento dell'energia termica E_{th}. Le due forme di energia si possono determinare misurando l'aumento di temperatura ϑ e il numero di giri della manovella. Il valore numerico delle due forme di energia va espresso in newton·metro (Nm) e in Joule (J); in questo modo, si può dimostrare sperimentalmente l'equivalenza: $E_m = E_{th}$.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Timer box o Timer S	524 034 o 524 074
1	Box temperatura	524 045
1	Sensore di temperatura NiCr-Ni	666 193
	o	
1	Adattatore NiCr-Ni S	524 0673

1	Sensore di temperatura NiCr-Ni, tipo K	529 676
1	Barriera luminosa a forchetta, raggi infrarossi	337 46
1	Cavo di collegamento, 6 poli, 1,5 m	501 16
1	Apparecchio per l'equivalente termico	388 00
1	Calorimetro	
	per es.	
	calorimetro ad acqua	388 01
	oppure	
	calorimetro di rame con riscaldatore	388 02
	oppure	
	calorimetro di alluminio con riscaldatore	388 03
	oppure	
	calorimetro grande di alluminio con riscaldatore	388 04
1	Morsetto da banco semplice	301 07
1	Base di appoggio a V, 20 cm	300 02
1	Asta di sostegno, 10 cm	300 40
1	Asta di sostegno, 25 cm	300 41
1	Morsetto con pinza	301 11
1	Peso, 5 kg	388 24
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Montaggio dell'esperimento (vedere figura)

- Fissare l'apparecchio per l'equivalente termico ad un angolo del tavolo.
- Fissare il morsetto da banco al bordo del tavolo ad una distanza di circa 40 cm dalla base di appoggio in plastica dell'apparecchio per l'equivalente termico. Stringere il morsetto a pinza mediante l'asta di sostegno da 25 cm in modo da fissare il sensore di temperatura come indicato in figura.
- Montare il calorimetro con i fori rivolti in alto e versare acqua nelle loro aperture.
- Inserire la guarnizione nel foro e bloccarla con la vite di fissaggio.
- Attaccare il calorimetro pieno d'acqua all'apparecchio per l'equivalente termico inserendo i perni rivettati nelle boccole della base di appoggio; ruotare il calorimetro in modo da bloccare i perni nella loro sede.
- Inserire il sensore di temperatura nell'apertura del calorimetro più in fondo possibile e stringere la vite di fissaggio. Bloccare il sensore di temperatura come indicato in figura utilizzando il materiale di fissaggio preparato precedentemente.
- Mettere il peso di 5 kg sotto il calorimetro.
- Avvolgere il filo di nylon circa 4 volte (6 al massimo) attorno al calorimetro ed attaccarlo al peso appoggiato sul pavimento. Il peso deve rimanere appeso frontalmente rispetto alla manovella.
- Girare la manovella e controllare se il peso di 5 kg si solleva di qualche centimetro e poi tenerlo ad un'altezza costante girando ancora la manovella. Se il peso si solleva troppo, diminuire il numero di giri del filo di nylon; se non si solleva per niente, aumentare il numero di giri.
- Per misurare il numero di rotazioni n_{EA1} (=numero di oscuramenti), posizionare la barriera luminosa a forchetta con la base di appoggio come indicato in figura e collegarla all'ingresso A di Sensor-CASSY con il timer box.
- Per misurare la temperatura ϑ_{B11}, collegare il sensore di temperatura all'ingresso B di Sensor-CASSY con il box di temperatura (boccola T_1)

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Da Settaggi nEA1, azzerare l'oscuramento cliccando su **—> 0 <—.**
- Avviare la misura con **F9**.
- Girare la manovella e misurare l'aumento di temperatura in funzione del numero di rotazioni.
- Raggiunta la temperatura desiderata ϑ_{B11}, arrestare la misura con **F9**.

Valutazione dei risultati

Durante la misura viene visualizzato il valore della temperatura ϑ_{B11} in funzione del numero di rotazioni n_{EA1}. Nel diagramma **Valutazione dei risultati**, viene tracciato il diagramma con l'andamento

dell'energia termica in funzione dell'energia meccanica necessaria per vincere l'attrito tramite le rotazioni della manovella. L'energia meccanica E_m è uguale al prodotto tra la forza di attrito e lo spostamento s:

$E_m = F \cdot s$

con $F = m \cdot g$

F = forza di attrito
m = massa del peso = 5 kg
g = accelerazione di gravità = 9,81 m/s^2

ed $s = N \cdot d \cdot \pi$

s = spostamento
N = numero di rotazioni
d = diametro del calorimetro = 0,047 m

L'energia meccanica è data da: $E_m = m \cdot g \cdot d \cdot \pi \cdot N$.

L'aumento di energia termica dovuto all'aumento di temperatura è dato da:

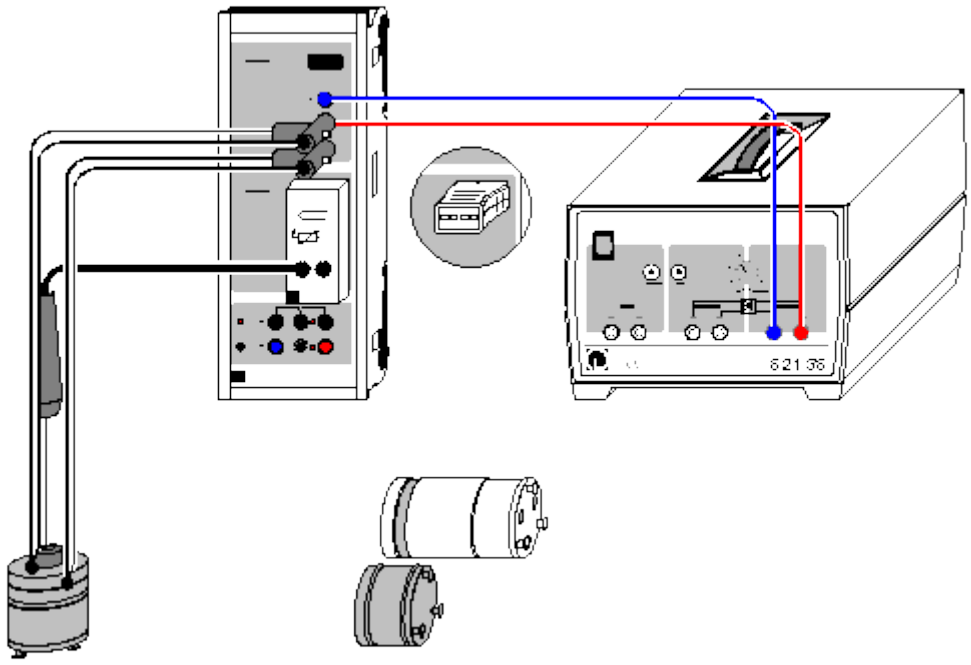
$E_{th} = C \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1)$

La capacità termica C va inserita in Settaggi C, il suo valore dipende dal calorimetro usato secondo questa tabella:

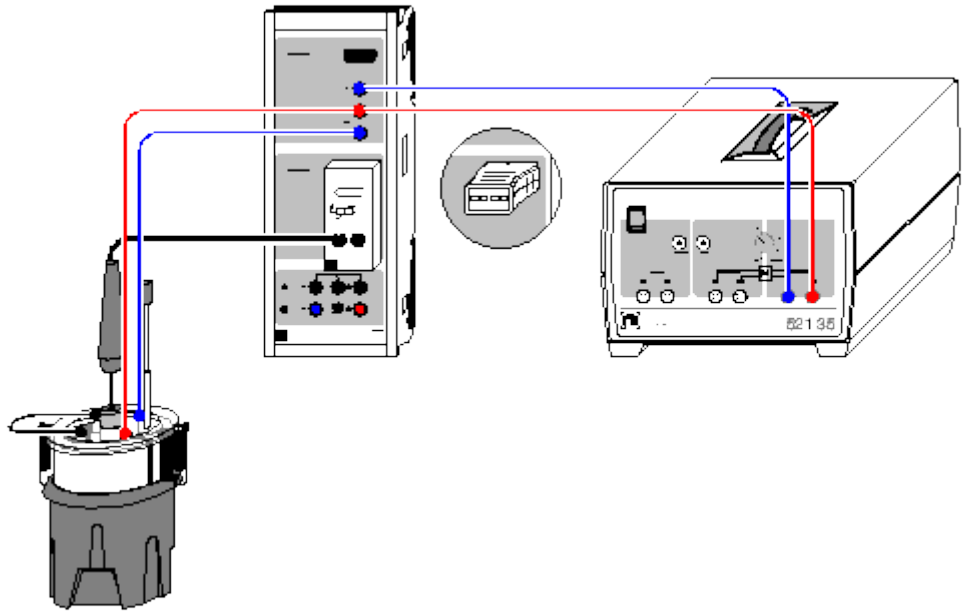
Calorimetro	Capacità termica C/(J/K)
Acqua (388 01)	40 + $m_{H2O}/g \cdot 4{,}2$ (massa dell'acqua in g)
Rame (388 02)	264 + 4,2 (per 1 g di acqua)
Alluminio (388 03)	188 + 4,2 (per 1 g di acqua)
Alluminio, grande (388 04)	384 + 4,2 (per 1 g di acqua)

L'equivalenza tra energia meccanica E_m ed energia termica E_{th} si può confermare interpolando i valori sperimentali con una retta per l'origine. Di solito, la pendenza di questa retta è minore di 1. Questo dipende dalla dissipazione termica la cui entità è difficile da quantificare come, ad esempio, il calore dissipato attraverso la superficie di contatto del calorimetro con il filo di nylon o con la base di appoggio in plastica.

Conversione dell'energia elettrica in energia termica



Alternativamente:



- Carica esempio

Norme di sicurezza

Pericolo di esplosione: le pareti del vaso Dewar sono molto sottili ed essendo sotto vuoto, si possono rompere facilmente nel caso di una sollecitazione meccanica.

Non urtare o non far cadere il vaso Dewar.

Non far cadere oggetti solidi al suo interno.

Non scalfire le pareti di vetro con oggetti taglienti.

Descrizione dell'esperimento

L'energia è una grandezza che dipende dal lavoro immagazzinato. Essa si manifesta sotto diverse forme convertibili una con l'altra. In un sistema chiuso, durante un processo di trasformazione, è valido il principio di conservazione dell'energia.

Questo esperimento serve a dimostrare sperimentalmente l'equivalenza tra energia elettrica E_{el} ed energia termica E_{th}. L'energia elettrica E_{el} fornita viene convertita in energia termica E_{th} mediante una bobina (o spirale di riscaldamento). In questo modo si produce un aumento di temperatura all'interno del calorimetro (o dell'acqua nella quale è immersa la spirale di riscaldamento). Le due forme di energia si possono determinare misurando contemporaneamente la corrente I e la temperatura ϑ in funzione del tempo mantenendo costante la tensione U. Il valore numerico delle due forme di energia va espresso in watt·secondi (Ws) e in Joule; in questo modo, si può dimostrare sperimentalmente l'equivalenza: $E_{el} = E_{th}$.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box temperatura	524 045
1	Sensore di temperatura NiCr-Ni	666 193
	o	
1	Adattatore NiCr-Ni S	524 0673
1	Sensore di temperatura NiCr-Ni, tipo K	529 676
1	Generatore di tensione, 0...12 V, per es. trasformatore S a bassa tensione	521 35
1	Calorimetro con cavi di collegamento, per es.	
	calorimetro in rame con riscaldatore	388 02
	coppia di cavi di collegamento per calorimetro	388 06
	oppure	
	calorimetro di alluminio con riscaldatore	388 03
	coppia di cavi di collegamento per calorimetro	388 06
	oppure	
	calorimetro di alluminio grande con riscaldatore	388 04
	coppia di cavi di collegamento per calorimetro	388 06
	oppure	
	Accessorio per calorimetro elettrico	384 20
	Vaso Dewar	386 48
	Becher piatto, vetro Duran, 250 ml	664 103
	Cilindro graduato di plastica, 250 ml	665 755
	Coppia di cavi, 50 cm, rosso e blu	501 45
	Cavo di collegamento, 50 cm, nero	501 28
1	Coppia di cavi, 50 cm, rosso ed blu	501 45
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Montaggio dell'esperimento con il calorimetro (vedere figura)

- Montare il calorimetro con i fori rivolti in alto e versare acqua nelle loro aperture.
- Inserire la guarnizione nel foro e bloccarla con la vite di fissaggio.
- Inserire il sensore di temperatura nell'apertura del calorimetro più in fondo possibile e stringere la vite di fissaggio.
- Per la misura della corrente e della tensione, collegare la CASSY al trasformatore S a bassa tensione come mostrato in figura.
- Collegare la bobina di riscaldamento del calorimetro all'ingresso A di Sensor-CASSY (mediante le spine a banana, collegare un cavo alla boccola blu e l'altro cavo alla boccola rossa).

- Per misurare la temperatura ϑ_{B11}, collegare il sensore di temperatura all'ingresso B di Sensor CASSY con il box di temperatura (boccola T_1).

Montaggio dell'esperimento con l'accessorio del calorimetro elettrico (vedere figura)

- Con il cilindro graduato, versare circa 200 ml di acqua nel vaso Dewar.
- Mettere l'accessorio del calorimetro elettrico nel vaso Dewar e bloccare il coperchio con delle molle.
- Attraverso il tappo di gomma, immergere il sensore di temperatura e la rondella di chiusura nel vaso Dewar. Il sensore di temperatura è sorretto dalla rondella di chiusura con la punta del sensore sotto la spirale di riscaldamento. La punta del sensore non deve toccare il fondo del vaso Dewar.
- Per la misura della corrente e della tensione, collegare la CASSY al trasformatore S a bassa tensione come mostrato in figura.
- Collegare le spirali del riscaldatore in serie all'ingresso A di Sensor-CASSY (mettere un cavo tra una spirale di riscaldamento e la boccola rossa, un altro cavo tra l'altra spirale di riscaldamento e il morsetto blu, collegare i morsetti liberi con il cavo nero).
- Per misurare la temperatura ϑ_{B11}, collegare il sensore di temperatura all'ingresso B di Sensor CASSY con il box di temperatura (boccola T_1).

Nota sull'esperimento

Quando si esegue l'esperimento con l'accessorio del calorimetro elettrico, dopo aver applicato tensione, mescolare l'acqua continuamente in modo da ottenere un riscaldamento uniforme. Durante la misura, spostare l'agitatore lentamente in alto e in basso.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Per eseguire la misura, selezionare la **Tensione U_{A1}** in Settaggi IA1.
- Chiudere il circuito di alimentazione del trasformatore S a bassa tensione ed applicare una tensione U_{A1} di circa 9 V (calorimetro) oppure circa 4 V (accessorio del calorimetro elettrico).
- Leggere l'esatto valore di U_{A1} ed inserirlo come parametro in Settaggi U.
- Aprire il circuito di alimentazione del trasformatore S a bassa tensione e, tramite Settaggi UA1, selezionare la **Corrente I_{A1}** come grandezza da misurare e scegliere **0 .. 2,1 A** come range
- Avviare la misura con **F9**.
- Quando la temperatura iniziale ϑ_{B11} raggiunge un valore costante, chiudere il circuito di alimentazione del trasformatore S a bassa tensione ed aprirlo di nuovo quando la temperatura raggiunge il valore finale ϑ_{B11}.
- Raggiunto il valore finale della temperatura, arrestare la misura con **F9**.

Valutazione dei risultati

Durante la misura vengono visualizzati graficamente i valori della temperatura ϑ_{B11} e della corrente I_{A1} in funzione del tempo. Nel diagramma **Valutazione dei risultati**, viene tracciato il diagramma con l'andamento dell'energia termica $E_{th} = C \cdot (\vartheta_{B11} - \vartheta_1)$ in funzione dell'energia elettrica $E_{el} = \sum U \cdot I \cdot \Delta t$. La capacità termica C va inserita in Settaggi C, il suo valore dipende dal calorimetro usato secondo questa tabella:

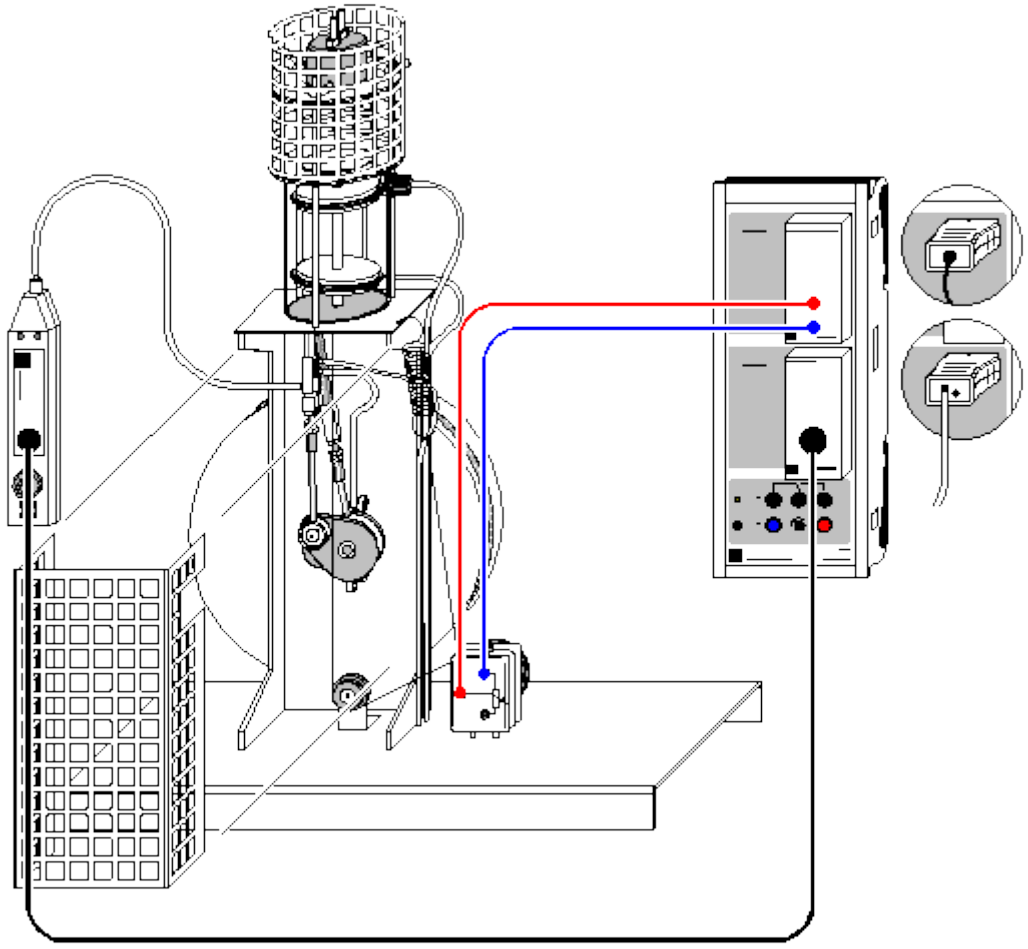
Calorimetro	Capacità termica C/(J/K)
Rame (388 02)	264 + 4,2 (per 1 g di acqua)
Alluminio (388 03)	188 + 4,2 (per 1 g di acqua)
Alluminio, grande (388 04)	384 + 4,2 (per 1 g di acqua)
Accessorio del calorimetro elettrico (384 20) con vaso Dewar (386 48)	$(m_{H2O}/g + 24) \cdot 4{,}2$ (con la massa dell'acqua in g e l'equivalente acqua m_D = 24 g del vaso Dewar)

L'equivalenza tra energia elettrica E_{el} ed energia termica E_{th} si può confermare interpolando i valori sperimentali con una retta per l'origine. Di solito, la pendenza di questa retta è leggermente minore di 1 a causa della dissipazione termica dovuta al calore irradiato. Questo si verifica in modo particolare quando la misura dura troppo a lungo e quindi i risultati possono essere abbastanza diversi dalla retta passante per l'origine.

Avviso

Come alternativa, è possibile eseguire manualmente la valutazione dei risultati: determinare il valore medio della temperatura iniziale ϑ_1 e della temperatura finale ϑ_2 (con il pulsante destro del mouse selezionare Traccia Valore Medio) e calcolare l'energia termica $E_{th} = C \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1)$. Con Misura della Differenza (**Alt+D**) determinare l'intervallo di tempo in cui viene fornita energia elettrica, calcolare $E_{el} = U \cdot I \cdot \Delta t$ e confrontare questo valore con E_{th}.

Diagramma pV di un motore ad aria calda



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Norme di sicurezza

- Prima di ogni esperimento, assicurarsi che la piastra di riscaldamento sia ben inserita nella propria sede e che il filamento non sia in contatto con il pistone di spostamento.
- Il motore ad aria calda può raggiungere temperature molto elevate e le aste collegate al pistone di spostamento possono provocare dei danni durante il funzionamento. Per questo motivo, bisogna usare sempre i guanti di protezione.
- Non usare mai il motore senza liquido refrigerante. Bisogna collegare il motore al rubinetto dell'acqua o utilizzare una pompa di circolazione con serbatoio; in questo caso si raccomanda di utilizzare acqua distillata o già bollita (priva di scorie).
  Quando si usa l'acqua del rubinetto come refrigerante, dopo l'uso lavare tutto il sistema con un composto caldo e privo di scorie.
- Lubrificare regolarmente i due cilindri del motore ad aria calda con olio al silicone. Per eseguire questa operazione bisogna togliere la piastra di riscaldamento, portare il pistone di spostamento verso il punto morto inferiore quindi, con una cannuccia, far gocciolare l'olio al silicone in modo da farlo arrivare sulla parete del cilindro che si trova sotto l'anello del pistone superiore. Poiché la chiusura non è perfettamente ermetica, l'olio riesce a raggiungere in poco tempo anche l'anello del pistone inferiore.
  Se la lubrificazione è insufficiente, il motore diventa rumoroso e funziona soltanto a bassa velocità!
- Non collegare mai la bobina di alimentazione (562 21) senza il nucleo ferromagnetico.

Descrizione dell'esperimento

Spesso, i cicli termodinamici sono descritti graficamente da curve chiuse tracciate su un diagramma pV (p: pressione, V: volume). Il lavoro fornito o assorbito dal sistema (dipende dal verso di rotazione) è proporzionale all'area racchiusa dalla curva.

In questo esperimento si determina il diagramma pV del motore ad aria calda funzionante come macchina termica. Il sensore di pressione misura la pressione p all'interno del cilindro ed il sensore di spostamento misura la posizione s il cui valore permette di determinare il volume in funzione del tempo t. I risultati della misura sono visualizzati direttamente sullo schermo sotto forma di diagramma pV. Successivamente, si determina per ogni ciclo il lavoro meccanico necessario a vincere l'attrito del pistone.

$$W = -\int p \cdot \mathrm{d}V$$

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box generatore di corrente	524 031
	con Trasduttore di spostamento e	529 031
	Coppia di cavi, 1 m, rosso e blu	501 46
	o	
1	Sensore di moto rotatorio S	524 082
1	B box	524 038
	con Sensore di pressione e	529 038
	Cavo di collegamento, 6 poli	501 16
	o	
1	Sensore di pressione S, ±2000 hPa	524 064
1	Motore ad aria calda	388 182
1	Filo di refe, 10 m	309 48
1	Molla elicoidale	352 08
1	Nucleo ad U con giogo	562 11
1	Dispositivo di blocco	562 12
1	Bobina di alimentazione, 500 spire	562 21
1	Bobina di alimentazione, 500 spire	562 18
2	Tubi in PVC, 8 mm di diam.	307 70
1	Pompa ad immersione 12 V	388 181
1	Alimentatore per bassa tensione	521 230
1	Bidone	604 307
2	Cavi di collegamento, 100 cm, neri	501 33
1	Serbatoio d'acqua 10 l	
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Montare il trasformatore e bloccarlo con il giogo.

Inserire la piastra di riscaldamento e collegare il riscaldatore ai due morsetti più esterni della bobina per bassa tensione con due cavetti.

Collegare il tubo flessibile del sensore di pressione all'adattatore del pistone di lavoro. Il sensore di pressione va collegato tramite il B box all'ingresso B di Sensor-CASSY. Fissare il trasduttore di spostamento al piano di base con due spinotti e collegarlo all'ingresso A tramite il box generatore di corrente; avvolgere il filo come mostrato in figura. Per attaccare il filo, sul pistone di lavoro ci sono due occhielli rivolti verso il basso. Agganciare la molla di tenuta all'apposito foro del telaio. La molla deve essere sotto tensione quando il pistone si trova nel punto morto inferiore. Per evitare eventuali slittamenti, avvolgere il filo due volte attorno alla puleggia del sensore di spostamento! Quando il pistone di lavoro si trova sul punto morto superiore, bisogna regolare il potenziometro in modo che il volume sia uguale a circa 50 cm^3.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Controllare il trasduttore di spostamento ed assicurarsi che funzioni correttamente; ruotare il motore manualmente almeno una volta e vedere se il valore del volume rientra nel range di misura. In caso contrario, allentare leggermente il filo e ruotare il potenziometro fino ad ottenere il valore corretto.
- Alimentare il riscaldatore chiudendo l'interruttore della bobina di alimentazione. Quando si esegue l'avviamento per la prima volta, conviene attendere circa 1 minuto prima di mettere il motore sotto carico in modo che il gas si scaldi sufficientemente e la partenza avvenga senza difficoltà. Negli esperimenti successivi, è possibile avviare il motore quando il riscaldatore comincia a diventare incandescente.
- Avviare la misura con **F9**. Il software esegue e visualizza automaticamente il numero di misure prestabilito; la misura è predisposta per eseguire solo pochi cicli in modo da semplificare la successiva integrazione.

Valutazione dei risultati

Determinazione del volume (già disponibile nell'esempio): il cilindro di lavoro ha un diametro interno di 60 mm, ad esso corrisponde una superficie del pistone di 28,3 cm^2. Contemporaneamente allo spostamento s_{A1}, si ottiene la formula del volume e lo strumento che esegue la misura.

Il lavoro eseguito in un ciclo è proporzionale all'area racchiusa dal diagramma. Il risultato si ottiene in questo modo: selezionare Calcola l'integrale (Area di Picco) attraverso il menu Valutazioni (cliccare sul diagramma con il pulsante destro del mouse) ed evidenziare un ciclo (cliccare sul punto iniziale, spostare l'indice lungo il ciclo tenendo schiacciato il pulsante sinistro del mouse). In alto compaiono i punti usati per l'integrazione. Di solito, non è possibile catturare tutti i punti di misura di un ciclo; anche se uno o due tratti della curva sono sostituiti da una retta, ciò non influisce sul calcolo dell'area. Quando si lascia il pulsante del mouse, l'area si riempie ed il suo valore compare nella linea di stato.

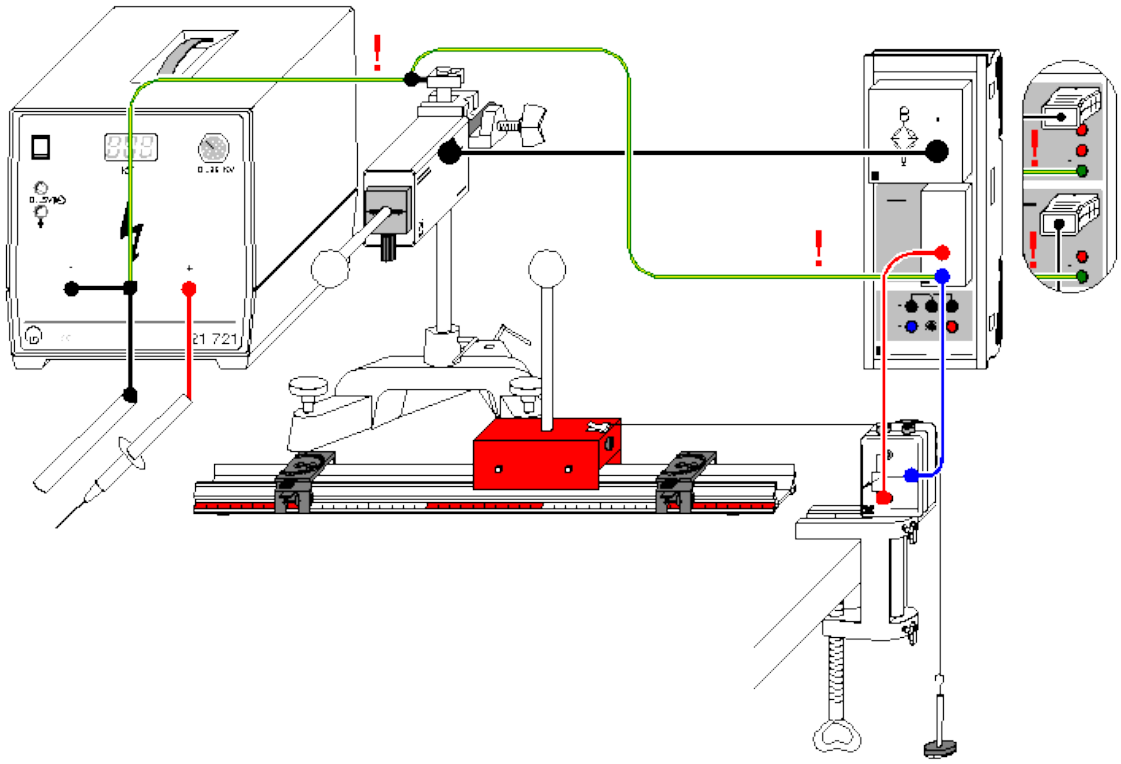
In questo esempio, si ottiene un lavoro W = 18900 hPa·cm^3 = 1,89 Nm.

Nota

La potenza di un motore è data da P = W · f dove f è la frequenza o numero di giri in assenza di carico.

Il valore di f si può determinare con la barriera luminosa ed un contatore. Un altro metodo è quello di usare lo **Spettro di Frequenza** (cliccare con il mouse su questa opzione). Tuttavia, per migliorare la risoluzione in frequenza, è necessario eseguire un maggior numero di misure (per es. aumentare tale numero da 125 a 2000 attraverso Parametri di Misura).

Legge di Coulomb



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Fare attenzione quando si lavora con l'alta tensione

Quando si lavora con tensioni elevate, lo sperimentatore non deve assolutamente toccare nessun componente del circuito! In particolare, si ricorda che il sensore di forza e Sensor-CASSY non sono protetti per le alte tensioni.

Inoltre verificare che la distanza fra il cavo dell'alta tensione e gli altri cavi isolati sia la maggiore possibile durante l'esperimento.

Descrizione dell'esperimento

Tra due sfere con due cariche Q uguali e di segno opposto si sviluppa una forza proporzionale alla carica Q ed inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza x. L'esperimento permette di verificare che $F \propto 1/x^2$.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Bridge box	524 041
	con Sensore di forza e	314 261
	Cavo di collegamento, 6 poli, 1,5 m	501 16
	o	
1	Sensore di forza S, ±1 N	524 060
1	Box generatore di corrente	524 031
	con Trasduttore di spostamento e	529 031
	Coppia di cavi, 1 m, rosso e blu	501 46
	o	

1	Sensore di moto rotatorio S	524 082
1	Alimentatore ad alta tensione 25 kV	521 721
1	Cavo per alta tensione	501 05
1	Serie di corpi per cariche elettriche	314 263
1	Rotaia metallica di precisione	460 82
1	Slittino 1, 85 g	337 00
2	Cavaliere	460 95
1	Spinotto a molla	590 02
1	Asta di connessione	532 16
1	Asta di sostegno, 25 cm	300 41
1	Base di appoggio a V, 20 cm	300 02
1	Morsetto Leybold	301 01
1	Serie di pesi motori	337 04
1	Morsetto da tavolo, semplice	301 07
1	Filo di refe, 10 m	309 48
1	Cavo di collegamento, 25 cm, nero	500 414
3	Cavi di collegamento, 100 cm, neri	500 444
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Il sensore di forza è collegato al bridge box inserito nell'ingresso A di Sensor-CASSY. Con un distanziatore isolante collocare sul sensore di forza una sfera metallica. Collocare l'altra sfera sullo slittino in modo che si possa muovere liberamente lungo la rotaia metallica fino al cavaliere.

La distanza tra le due sfere si misura con il trasduttore di posizione il quale va collegato al box generatore di corrente inserito nell'ingresso B di Sensor-CASSY. Infine, collegare con un filo lo slittino alla puleggia del sensore di spostamento ed attaccarvi un peso. Assicurarsi che l'indicatore di spostamento s_{B1} aumenti con la distanza e che nella posizione di contatto si abbia circa 0 cm.

Per ragioni di sicurezza il box alimentatore di corrente ed il sensore di forza devono essere messi a terra. Collegare il sensore di forza alla boccola di terra dell'alimentatore di alta tensione usando una spina a morsetto e un cavo di collegamento.

Note per l'esperimento

Applicare sulle due sfere una carica sufficiente in modo che possa rimanere costante (almeno per il poco tempo necessario ad eseguire l'esperimento); questa è una condizione necessaria per il buon esito dell'esperimento. Dopo aver caricato le due sfere, bisogna essere in grado di misurare una forza di almeno 5 mN ad una distanza di 0,5 cm e fare in modo che rimanga costante per pochi secondi. In caso contrario:

- Pulire gli isolatori e le sfere (per es. con acqua saponata e sciacquare con acqua distillata).
- Asciugare con cura gli isolatori e le sfere (per es. con la fiamma di un becco Bunsen oppure soffiando aria calda).
- Evitare fiamme libere in prossimità del circuito sperimentale (provoca la ionizzazione dell'aria).
- In alternativa all'alimentatore ad alta tensione, si possono utilizzare altre sorgenti di cariche (per es. strofinando una bacchetta di PVC con setole lavate recentemente).
- È necessario, però, che esse siano ben asciutte.

Esecuzione dell'esperimento

☐ Carica settaggi

- Calibrare l'origine dello spostamento: mettere le sfere in contatto, selezionare **Corretto** attraverso l'opzione Settaggi sB1, fissare come primo valore 3,8 cm (distanza dei centri delle sfere) e cliccare su **Offset Corretto**.
- Mettere le sfere nella posizione di partenza distanziandole di circa 0,5 cm.
- Scaricare le due sfere collegandole a massa con l'asta di connessione.
- Fissare il punto in cui si ha forza uguale a zero attraverso Settaggi FA1 **—> 0 <—** e, se necessario, attivare il LED del bridge box con **LED On/Off**.
- Caricare le sfere collegando per pochi secondi un polo dell'alimentatore ad alta tensione a massa e l'altro polo alla sfera. In questo modo si genera una forza di almeno 5 mN (vedere Note per l'esperimento). Eventualmente, tramite Settaggi FA1, si può cambiare lo zero dello strumento di mi-

sura della forza (e così l'asse y del diagramma) e spostarlo dal centro a sinistra oppure a destra della scala.

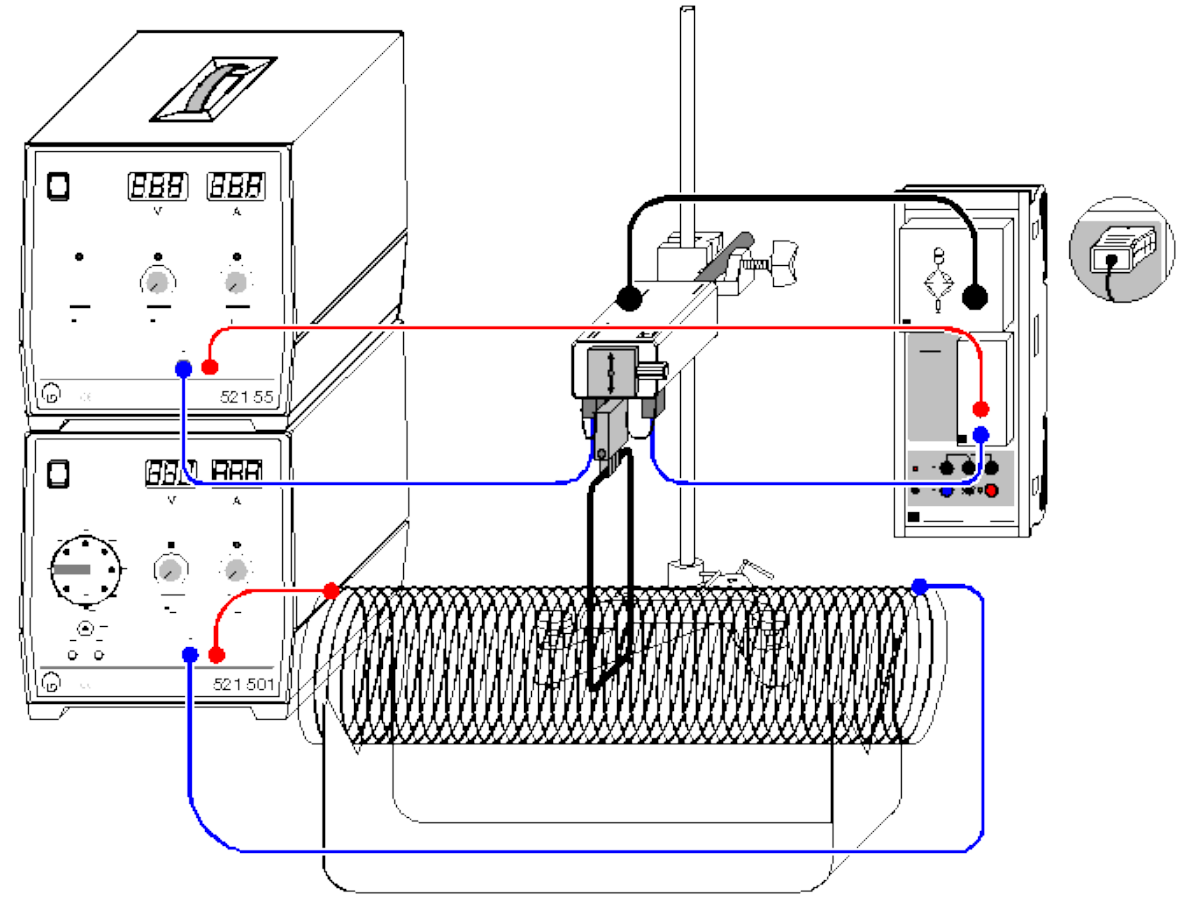
- Avviare la misura con **F9**.
- Spostare lentamente lo slittino con la mano ed allontanarlo dal sensore di forza.
- Raggiunta una distanza di circa 15 cm, terminare la misura con **F9**.

Valutazione dei risultati

Durante la misura, compare il diagramma F(x). Per verificare la legge di Coulomb, bisogna interpolare il diagramma con iperbole $1/x^2$ oppure eseguire una conversione dell'asse x in $1/x^2$ (cliccare sull'asse con il pulsante destro del mouse) ed interpolare con la retta.

Si nota subito che la proporzionalità $F \propto 1/x^2$ non è rispettata fino a quando non si raggiunge una distanza di circa 6 cm tra i centri delle due sfere. Infatti, a distanze inferiori, i risultati sono poco precisi poiché le cariche non si possono considerare puntiformi.

Forza in un campo magnetico generato da una bobina in aria



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

La densità del flusso magnetico, o più semplicemente il campo magnetico **B**, è una grandezza vettoriale. Quando una carica q attraversa un campo magnetico **B** a velocità **v**, su di essa agisce una forza **F** il cui valore dipende dall'intensità e dalla direzione del campo magnetico. Infatti, si ha:

$\mathbf{F} = q \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{B})$.

Anche la forza di Lorentz **F** è una grandezza vettoriale e la sua direzione è perpendicolare al piano individuato dai vettori **v** e **B**.

Applicando questo principio fisico, si può determinare la forza che agisce su un conduttore percorso da corrente ed in presenza di un campo magnetico; infatti, tale forza è data dalla somma delle forze elementari che agiscono sulle cariche che si muovono lungo il conduttore per dar luogo alla circolazione di corrente. La forza di Lorentz **F** che agisce su una singola carica q che si muove nel conduttore a velocità v si può estendere a tutta la lunghezza del conduttore e si ottiene, così, la forza totale

$\mathbf{F} = q \cdot nAs \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{B})$,

dove il numero totale di cariche si ottiene moltiplicando la carica q per la densità n delle cariche mobili, per la sezione A del conduttore e per la lunghezza s del conduttore che taglia le linee di forza del campo magnetico.

Di solito, s'introduce il vettore **s** orientato secondo la lunghezza del conduttore, mentre il prodotto qnAv è equivalente alla corrente I. In base a questo, la forza di un campo magnetico su un conduttore percorso da corrente risulta

$\mathbf{F} = I \cdot (\mathbf{s} \times \mathbf{B})$

Se **s** e **B** sono perpendicolari fra loro, l'intensità della forza coincide con il valore assoluto

$F = I \cdot s \cdot B$,

La forza F risulta proporzionale alla corrente I ed ha B come coefficiente di proporzionalità.

In questo esperimento si misura la forza che agisce su una spira immersa nel campo magnetico uniforme generato da una bobina lineare in aria al variare della corrente I che percorre la spira. La spira è collegata ad un sensore di forza ed il conduttore che taglia le linee di forza del campo magnetico ha una lunghezza s = 8 cm; con il sensore di forza non si può misurare la componente della forza dovuta al conduttore orizzontale. La legge di proporzionalità che lega la forza F la corrente I che circola nella spira serve a determinare la densità di flusso magnetico B.

Con la bobina in aria si ha il vantaggio di poter calcolare facilmente la densità B del flusso magnetico e quindi si può fare il confronto con i risultati ottenuti sperimentalmente. All'interno di una bobina in aria si ha

$B = \mu_0 \cdot N \cdot I_C / L$

dove $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am è la permeabilità magnetica dell'aria, N è il numero di spire della bobina, I_C è la corrente che circola nella bobina e L è la lunghezza della bobina.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Bridge box	524 041
	con Sensore di forza e	314 261
	Cavo di collegamento, 6 poli, 1,5 m	501 16
	o	
1	Sensore di forza S, ±1 N	524 060
1	30-A box	524 043
1	Supporto per conduttori ad anello	314 265
1	Conduttore ad anello per misure di forza	516 34
1	Bobina di campo, d = 120 mm	516 244
1	Supporto per bobine di campo	516 249
1	Alimentatore a corrente elevata	521 55
1	Alimentatore AC/DC 0...15 V	521 501
1	Base di appoggio a V, 20 cm	300 02
1	Asta di sostegno, 47 cm	300 42
1	Morsetto Leybold	301 01
1	Cavo di collegamento, 50 cm, blu	501 26
2	Cavi di collegamento, 100 cm, rossi	501 30
2	Cavi di collegamento, 100 cm, blu	501 31
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Il sensore di forza sostiene il conduttore ad anello (spira) lungo 8 cm, inserito nella bobina in aria attraverso una fessura. Il conduttore ad anello non deve toccare la bobina ed è sorretto da due boccole da 4 mm poste sotto il sensore di forza ed isolate fra loro. Il sensore di forza è collegato al bridge box posto sull'ingresso A di Sensor-CASSY.

La corrente che circola nel conduttore ad anello viene fornita dall'alimentatore da 20 A attraverso il 30-A box posto sull'ingresso B di Sensor-CASSY. La corrente che circola nella bobina in aria viene fornita dall'alimentatore da 5 A.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Fissare il punto in cui si ha forza uguale a zero attraverso Settaggi FA1 con **—> 0 <—** e, se necessario, attivare il LED del bridge box con **LED On/Off**.

- Per portare a 0 A il valore della corrente, selezionare **Corretto** attraverso l'opzione Settaggi IB1 (fissare come primo valore 0 A e cliccare su **Offset Corretto**).
- Regolare l'alimentatore della bobina in modo da far circolare una corrente I_C di circa 5 A.
- Aumentare da 0 a 20 A la corrente I che circola nel conduttore ad anello ad intervalli compresi tra 2 e 5 A, ed ogni volta registrare il valore misurato con **F9**. I valori errati della tabella si possono cancellare con **Cancella Ultima Riga della Tabella** (cliccare sulla tabella con il pulsante destro del mouse).
- Se dalla misura si ottengono solo forze negative, invertire i collegamenti sul supporto del conduttore ad anello.
- Eseguire l'esperimento più rapidamente possibile poiché il conduttore ad anello può sopportare una corrente di 20 A solo per poco tempo.
- Terminato l'esperimento, riportare a 0 A la corrente che circola nel conduttore ad anello.

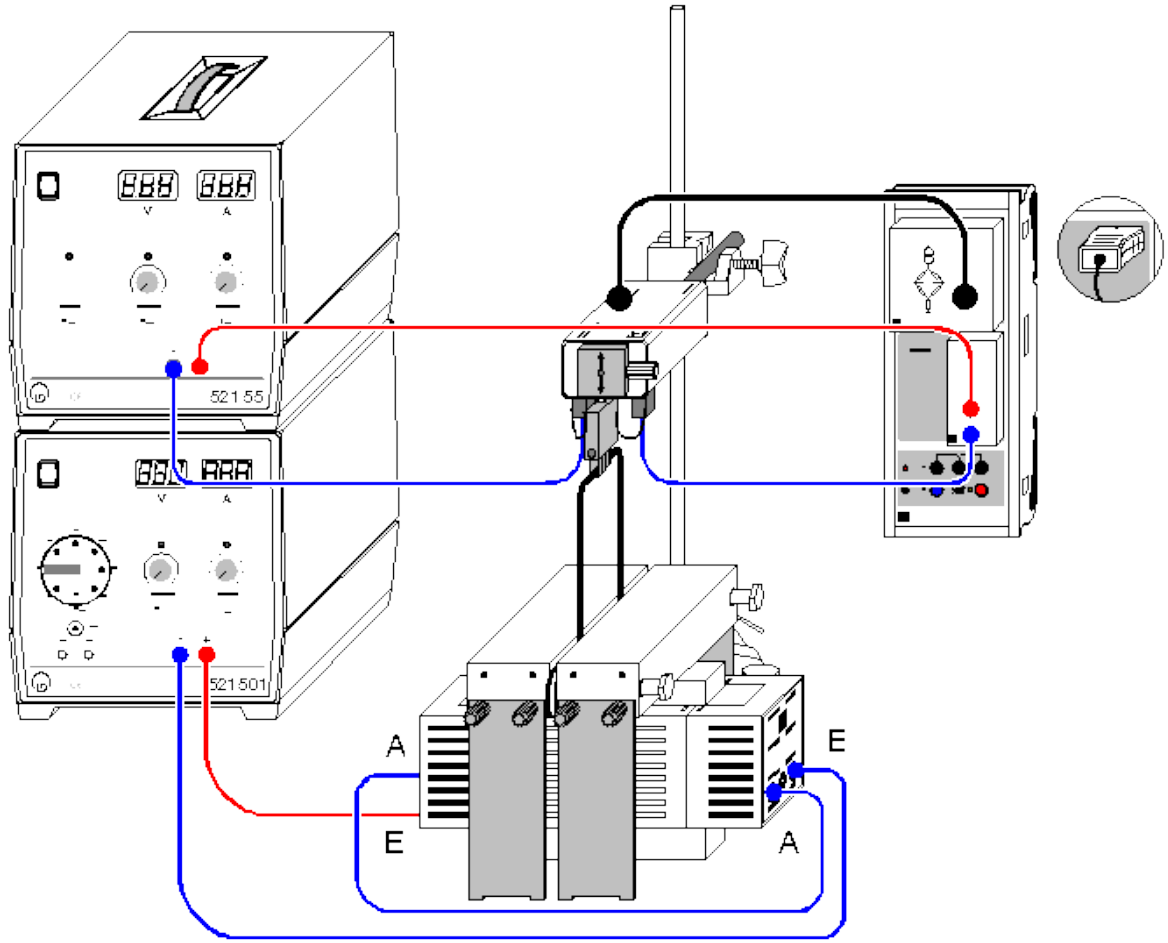
Valutazione dei risultati

La forza aumenta linearmente in funzione della corrente. Il coefficiente di proporzionalità F/I = B·s si ricava dalla pendenza dell'andamento lineare quindi, noto s, si può ricavare l'intensità B del campo magnetico.

In questo esempio si ha F/I = 0,138 mN/A, poiché s = 0,08 m si ottiene B = 1,725 mT.

Mediante la formula $B = \mu_0 \cdot N \cdot I_C / L$, noti i valori di μ_0 = 1,257 µVs/Am, N = 120, I_C = 4,75 A ed L = 0,41 m si ottiene B = 1,75 mT. I due risultati rientrano perfettamente entro i limiti di precisione della misura.

Forza in un campo magnetico generato da un elettromagnete



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

In questo esperimento, si genera un campo magnetico uniforme B tramite un elettromagnete avente nucleo ad U e giogo con poli a ferro di cavallo. La prova ha come obiettivo la misura della forza F che agisce su un conduttore ad anello in funzione della corrente I (F proporzionale ad I). I risultati della misura sono valutati graficamente utilizzando conduttori di diversa lunghezza s (F/I proporzionale ad s). Lo scopo finale consiste nella verifica della relazione

$F = I \cdot s \cdot B$

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Bridge box	524 041
	con Sensore di forza e	314 261
	Cavo di collegamento, 6 poli, 1,5 m	501 16
	o	
1	Sensore di forza S, ±1 N	524 060
1	30-A box	524 043
1	Supporto per conduttori ad anello	314 265

1	Conduttore ad anello per misure di forza	516 34
1	Nucleo ad U con giogo	562 11
2	Bobine con 500 spire	562 14
1	Giogo con poli a ferro di cavallo	562 25
1	Alimentatore a corrente elevata	521 55
1	Alimentatore AC/DC 0...15 V	521 501
1	Base di appoggio a V, 20 cm	300 02
1	Asta di sostegno, 47 cm	300 42
1	Morsetto Leybold	301 01
2	Cavi di collegamento, 50 cm, blu	501 26
2	Cavi di collegamento, 100 cm, rossi	501 30
2	Cavi di collegamento, 100 cm, blu	501 31
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Infilare le due bobine nel nucleo ad U. Inserire trasversalmente su di esse le due espansioni polari. Per regolare l'altezza, usare l'appoggio laterale. Il traferro si può variare spostando una delle due espansioni polari ed eseguire la regolazione con distanziatori non magnetici.

Il sensore di forza che sorregge il conduttore ad anello è posizionato in modo da inserire il conduttore nel traferro che separa le espansioni polari dell'elettromagnete. Il conduttore ad anello non deve toccare le espansioni polari. Le due boccole da 4 mm poste sotto il sensore di forza ed isolate fra loro servono ad alimentare il supporto del conduttore ad anello. Il sensore di forza è collegato al bridge box che si trova sull'ingresso A di Sensor-CASSY.

La corrente fornita dall'alimentatore da 20 A circola nel conduttore ad anello attraverso il box 30 A posto sull'ingresso B di Sensor-CASSY. La corrente che circola nelle due bobine collegate in serie viene fornita dall'alimentatore da 5 A. Assicurarsi che i campi magnetici generati dalle due bobine si sommino tra loro (A collegato ad A ed i due morsetti E collegati all'alimentatore come mostrato in figura).

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

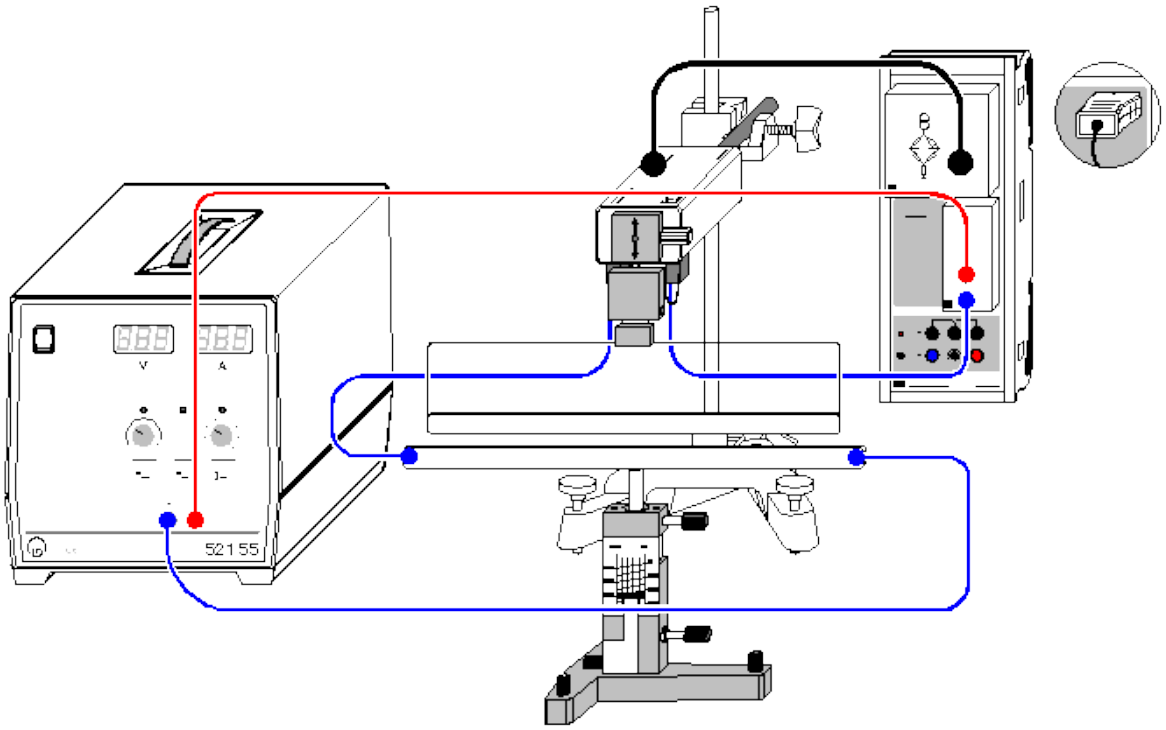
- Fissare il punto in cui si ha forza uguale a zero attraverso Settaggi FA1 **—> 0 <—** e, se necessario, attivare il LED del bridge box con **LED On/Off**.
- Selezionare **Corretto** attraverso l'opzione Settaggi IB1 e portare il valore della corrente a 0 A (fissare 0 A come primo valore e cliccare su **Offset Corretto**).
- Regolare l'alimentatore della bobina in modo da far circolare una corrente di circa 2,5 A.
- Aumentare da 0 a 20 A la corrente I che circola nel conduttore ad anello ad intervalli compresi tra 2 e 5 A; di volta in volta, registrare il valore misurato con **F9**. I valori errati della tabella si possono cancellare con **Cancella Ultima Riga della Tabella** (cliccare sulla tabella con il pulsante destro del mouse).
- Se dalla misura si ottengono solo forze negative, invertire i collegamenti sul supporto del conduttore ad anello.
- Eseguire l'esperimento più rapidamente possibile poiché il conduttore ad anello può sopportare una corrente di 20 A solo per poco tempo.
- Terminato l'esperimento, riportare a 0 A la corrente che circola nel conduttore ad anello.
- Registrare altre curve utilizzando conduttori di lunghezza s diversa. Entrare in Parametri di Misura selezionare **Aggiungi Nuova Serie di Misure.**

Valutazione dei risultati

Interpolare la serie di misure F(I) con l'andamento lineare. Determinato l'andamento migliore, selezionare **Campo Magnetico** (cliccare sull'opzione con il mouse). Per ogni lunghezza del conduttore, trascinare con il mouse i valori della pendenza F/I dalla linea di stato e incollarli in una nuova tabella (trascina & incolla). Inserire direttamente dalla tastiera la lunghezza s del conduttore ad anello. Inserendo i diversi valori, si ottiene il diagramma desiderato.

Dalla pendenza F/I = B·s della retta ottenuta interpolando l'andamento lineare, si ricava l'intensità B del campo magnetico generato tra le espansioni polari (in questo esempio si ottiene B = 164 mN/(A·m) = 164 mT).

Forza tra due conduttori percorsi da corrente (definizione di ampere)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

La forza F che agisce su un conduttore di lunghezza s percorso da una corrente I in presenza di una densità di flusso magnetico B è data da

$F = I \cdot s \cdot B$.

Poiché la densità di flusso magnetico B generato da un conduttore lineare percorso dalla corrente I che si trova ad una distanza r vale

B = costante · I / r.

sostituendo, si deduce che la forza F che agisce tra due conduttori a distanza r e percorsi dalla stessa corrente I è data da

$F = \text{costante} \cdot I^2 \cdot s / r$.

L'unità di misura della corrente elettrica (ampere) si definisce in questo modo: la corrente elettrica I ha il valore di 1 A quando la forza per unità di lunghezza s che agisce tra due conduttori paralleli, infinitamente lunghi, di diametro trascurabile e percorsi dalla stessa corrente ha un valore assoluto

$F / s = 2 \cdot 10^{-7}$ N/m

Di conseguenza si ha:

costante = $2 \cdot 10^{-7}$ N/A^2.

Il valore della costante è dato da $\mu_0/2\pi$, da cui si ottiene:

$F = \mu_0/2\pi \cdot I^2 \cdot s / r$

perciò si deduce che $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ N/A^2 = $4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am.

In questo esperimento si misura la forza F che agisce su un conduttore di lunghezza s = 0,30 m posto ad una distanza r di qualche millimetro da un altro conduttore poco più lungo al variare della corrente I e della distanza r. Il risultato ottenuto conferma la definizione di ampere.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Bridge box	524 041
	con Sensore di forza e	314 261
	Cavo di collegamento, 6 poli, 1,5 m	501 16
	o	
1	Sensore di forza S, ±1 N	524 060
1	30-A box	524 043
1	Supporto per conduttori ad anello	314 265
1	Serie di conduttori per la definizione di ampere	516 33
1	Sostegno di altezza regolabile	516 31
1	Alimentatore per correnti elevate	521 55
1	Base di appoggio a V, 20 cm	300 02
1	Asta di sostegno, 47 cm	300 42
1	Morsetto Leybold	301 01
2	Cavi di collegamento, 50 cm, blu	501 26
1	Cavo di collegamento, 100 cm, rosso	501 30
1	Cavo di collegamento, 100 cm, blu	501 31
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Il sensore di forza sorregge il conduttore superiore posizionato tramite il sostegno di altezza regolabile in modo che la distanza dall'altro conduttore sia di circa 5 mm.

Le due boccole da 4 mm poste sotto il sensore di forza ed isolate fra loro servono ad alimentare il supporto del conduttore ad anello. Il sensore di forza è collegato al bridge box posto sull'ingresso A di Sensor-CASSY. La corrente fornita dall'alimentatore da 20 A circola attraverso i due conduttori ad anello attraverso il 30-A box 30 che si trova sull'ingresso B di Sensor-CASSY.

Spostare lentamente i due conduttore fino a portarli in contatto fra loro (i centri dei due conduttori si trovano, così, ad una distanza r = 2 mm). Assicurarsi che il sostegno di altezza regolabile sia parallelo al conduttore ad anello, eventualmente, utilizzare le viti di regolazione.

Spostare il cursore del sostegno di altezza regolabile in modo che lo zero si trovi in corrispondenza di una tacca prestabilita, quindi spostare i due conduttori con il meccanismo di regolazione e portarli alla distanza desiderata (per es. r = 4 mm).

Per ottenere buoni risultati dalla misura, bisogna eseguire con cura questa regolazione.

Esecuzione della misura

- Carica settaggi
- Fissare il punto in cui si ha forza uguale a zero attraverso Settaggi FA1 **—> 0 <—** e, se necessario, attivare il LED del bridge box con **LED On/Off**.
- Selezionare **Corretto** attraverso l'opzione Settaggi IB1 e portare il valore della corrente a 0 A (fissare 0 A come primo valore e cliccare su **Offset Corretto**).
- Aumentare da 0 a 20 A la corrente I che circola nel conduttore ad anello ad intervalli di 2 A ed ogni volta registrare il valore misurato con **F9**. I valori errati della tabella si possono cancellare con **Cancella Ultima Riga della Tabella** (cliccare sulla tabella con il pulsante destro del mouse).
- Se dalla misura si ottengono solo forze negative, invertire i collegamenti sul supporto del conduttore ad anello.
- Eseguire l'esperimento più rapidamente possibile poiché il conduttore ad anello può sopportare una corrente di 20 A solo per poco tempo.
- Terminato l'esperimento, riportare a 0 A la corrente nel conduttore ad anello.
- Registrare altre curve con diverse distanze r dei conduttori. Entrare in Parametri di Misura e selezionare **Aggiungi Nuova Serie di Misure.**

Valutazione dei risultati

Interpolare con una parabola i risultati F(I) delle misure. Eseguita questa operazione, selezionare **Definizione di Ampere** (cliccare su tale opzione con il mouse). Per ciascuna distanza dei conduttori, trascinare con il mouse i valori della pendenza F/I dalla linea di stato e incollarli in una nuova tabella (trascina & incolla). Inserire direttamente dalla tastiera la distanza r dei conduttori. Inserendo i diversi valori, si ottiene il diagramma desiderato.

Da questa rappresentazione, si ricava il parametro $F/I^2 \cdot r$ dell'iperbole 1/x necessario per la definizione di ampere, cioè il valore della costante

$\mu_0/2\pi = F/I^2 \cdot r / s = F/I^2 \cdot r / 0{,}3$ m.

In questo esempio si ottiene

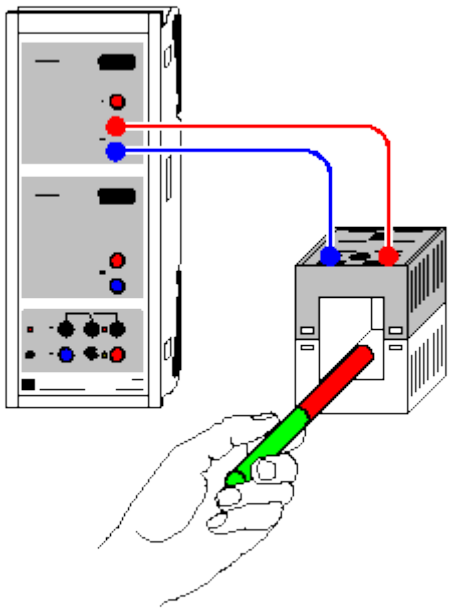
$\mu_0/2\pi = 0{,}000062$ mN·m/A^2 / 0,3 m = $2{,}1 \cdot 10^{-7}$ N/A^2 = $2{,}1 \cdot 10^{-7}$ Vs/Am.

Alternativamente, si può eseguire una conversione dell'asse x da r ad 1/r (cliccare sull'asse con il pulsante destro del mouse); il valore $\mu_0/2\pi$ si ottiene interpolando con l'andamento lineare.

Nota

La misura contiene degli errori sistematici. Poiché in questo caso il conduttore ha lunghezza finita, bisogna supporre che agli estremi del conduttore il campo magnetico sia nullo e che la forza esercitata sia trascurabile. Inoltre, sul conduttore sospeso agisce una piccola forza contraria dovuta al tratto superiore di filo.

Impulso di tensione (legge dell'induzione di Faraday)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Nel 1831, Faraday scoprì che una variazione del flusso magnetico Φ concatenato con una spira metallica induce nella spira una differenza di potenziale. Il flusso magnetico concatenato con la spira è dato dall'integrale dell'induzione magnetica **B** esteso a tutta l'area della spira.

$$\Phi = \int_A \mathbf{B} \cdot \mathrm{d}\mathbf{A}$$

In particolare, si può dimostrare che la tensione indotta è direttamente proporzionale alla derivata del flusso magnetico Φ rispetto al tempo e che l'impulso di tensione

$$\int_1^2 U \, \mathrm{d}t \sim \Phi_2 - \Phi_1 = \Delta\Phi$$

dipende soltanto dalla variazione del flusso magnetico. Si è giunti, così, alla scoperta della legge dell'induzione di Faraday.

$$U = -\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t} .$$

In questo esperimento, si misura la tensione indotta U(t) in funzione della densità B del flusso magnetico e del numero di spire N della bobina. Passando alla valutazione dei risultati, si determina l'impulso di tensione mediante l'integrale di U(t) rispetto al tempo ed infine si verifica la validità della legge dell'induzione di Faraday.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
2	Aste magnetiche cilindriche	510 11
1	Bobina di 250 spire	562 13
1	Bobina di 500 spire	562 14
1	Bobina di 1000 spire	562 15
1	Coppia di cavi, 1 m, rosso e blu	501 46
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Collegare una bobina all'ingresso A di Sensor-CASSY.

Esecuzione dell'esperimento

a) Misura in funzione del flusso magnetico Φ

- Carica settaggi
- Collegare la bobina di 250 spire all'ingresso A
- Avviare la misura con **F9**.
- Inserire ed estrarre un magnete dalla bobina.
- Arrestare la misura con **F9** (oppure arrestare automaticamente la misura dopo 10 secondi).
- Avviare la misura con **F9** dopo aver atteso sufficientemente in modo che la nuova misura non interferisca con le misure precedenti.
- Inserire ed estrarre due magneti dalla bobina.
- Arrestare la misura con **F9** (oppure arrestare automaticamente la misura dopo 10 secondi).

b) Misura in funzione del numero di spire N

- Carica settaggi
- Collegare la bobina di 250 spire all'ingresso A.
- Avviare la misura con **F9**.
- Inserire ed estrarre un magnete dalla bobina.
- Arrestare la misura con **F9** (oppure arrestare automaticamente la misura dopo 10 secondi).
- Collegare la bobina di 500 spire all'ingresso A.
- Avviare la misura con **F9** dopo aver atteso sufficientemente in modo che la nuova misura non interferisca con le misure precedenti.
- Inserire ed estrarre il magnete dalla bobina.
- Arrestare la misura con **F9** (oppure arrestare automaticamente la misura dopo 10 secondi).
- Collegare la bobina di 1000 spire all'ingresso A.
- Avviare la misura con **F9** dopo aver atteso sufficientemente in modo che la nuova misura non interferisca con le misure precedenti.
- Inserire ed estrarre il magnete dalla bobina.
- Arrestare la misura con **F9** (oppure arrestare automaticamente la misura dopo 10 secondi).

Valutazione dei risultati

Nella parte a) dell'esperimento, l'integrale rivela che inserendo ed estraendo il magnete dalla bobina gli impulsi di tensione hanno lo stesso valore assoluto e segno contrario, cioè

$$\int_{\downarrow} U(t)\,\mathrm{d}t = -\int_{\uparrow} U(t)\,\mathrm{d}t.$$

Con due magneti, si trova che l'ampiezza degli impulsi di tensione aumenta proporzionalmente al numero di magneti utilizzati secondo questa relazione :

$$\int_1^2 U(t)\,\mathrm{d}t \sim \Phi_2 - \Phi_1 = \Delta\Phi.$$

Eseguendo la derivata, si verifica la validità della legge dell'induzione magnetica di Faraday

$$U = -\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}$$

Il flusso magnetico concatenato con una bobina dipende anche dal numero di spire; infatti, se $\Delta\Phi_0$ è la variazione del flusso concatenato con una sola spira, la variazione del flusso totale è data da $\Delta\Phi = N \cdot \Delta\Phi_0$.

La parte b) dell'esperimento, serve a verificare la relazione che intercorre tra un impulso di tensione ed il numero di spire N della bobina. In questo caso, attraverso **Numero di Spire**, s'inserisce il numero di spire N (cliccando sulle corrispondenti celle della tabella) e si determina, ad esempio, l'ampiezza di tutti gli impulsi positivi. Ancora una volta, si ottiene una relazione di proporzionalità

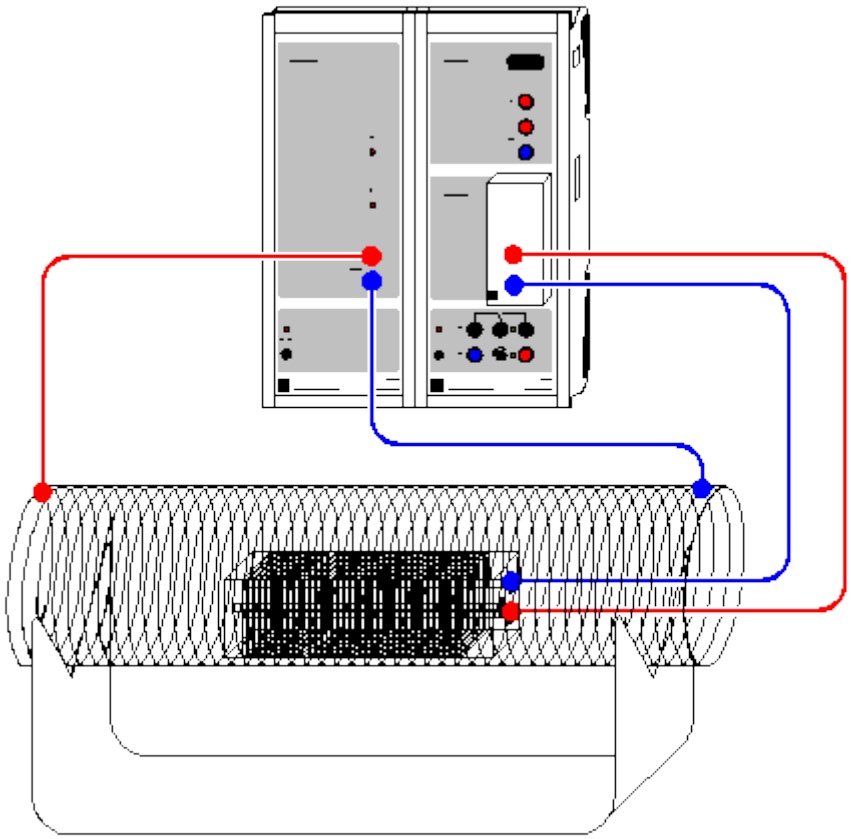
$$\int_1^2 U(t)\,\mathrm{d}t \sim N \cdot \Delta\Phi_0 = \Delta\Phi.$$

La pendenza della relazione lineare che intercorre tra l'ampiezza degli impulsi di tensione ed il numero di spire è proporzionale al flusso magnetico Φ_0 indotto dal magnete permanente su una singola spira dell'avvolgimento.

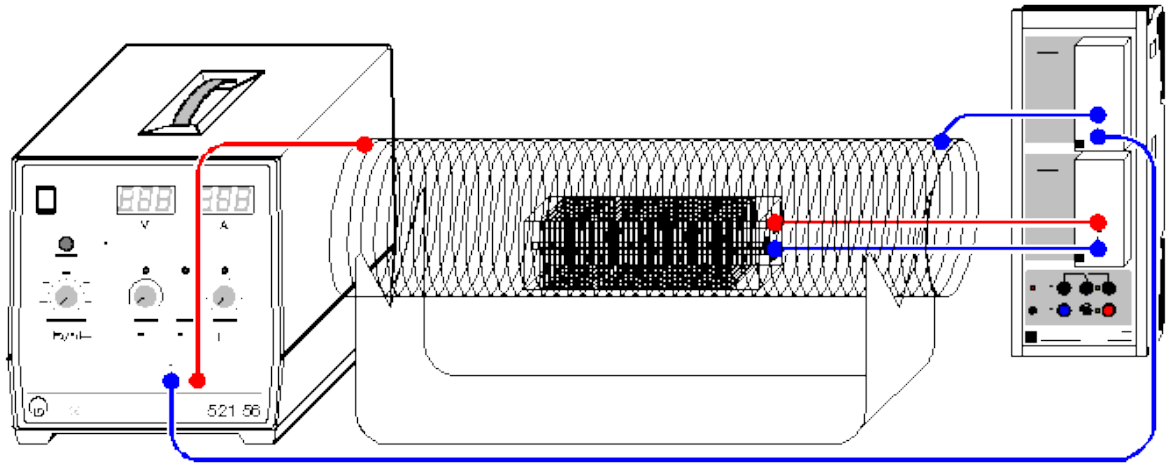
Cenni sull'operazione di integrale

Per eseguire l'operazione d'integrale, bisogna definire l'intervallo, d'integrazione; a tale proposito, spesso s'incontrano delle difficoltà a causa della sovrapposizione dei diversi impulsi. Per superare tali difficoltà conviene bloccare la misura con **F9** subito dopo un impulso di tensione (senza attendere che siano trascorsi 10 secondi) ed eseguire immediatamente l'integrazione. Se si attende la fine di un impulso e si esegue l'integrazione prima di avviare la misura successiva, non c'è pericolo di sovrapposizione.

Induzione in un campo magnetico variabile



Alternativamente (senza Power-CASSY):



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Le tensioni e le correnti generate da un campo magnetico variabile sono chiamate tensioni e correnti indotte; anche questi sono fenomeni legati all'induzione elettromagnetica. Quando una spira si trova in presenza di un campo magnetico **B**, il flusso magnetico concatenato si calcola con un integrale esteso a tutta l'area della spira

$$\Phi = \int_A \mathbf{B} \cdot \mathrm{d}\mathbf{A}$$

Se al posto di una spira si usa una bobina di N_1 spire perpendicolari al campo magnetico, il flusso concatenato Φ aumenta secondo questa relazione

$$\Phi = B \cdot A \cdot N_1.$$

Se il campo magnetico B rimane costante, anche il flusso magnetico Φ rimane costante. Se il campo magnetico e quindi anche il flusso magnetico concatenato con la spira variano nel tempo, si ha una tensione ed una corrente indotta la cui grandezza e direzione dipendono dal modo in cui il campo varia nel tempo. In base alla legge dell'induzione magnetica di Faraday si ha:

$$U = -\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}$$

per cui

$$U = -\frac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}t} \cdot A \cdot N_1.$$

Viceversa, una corrente elettrica genera un campo magnetico; per esempio, questo avviene quando in una bobina circola una corrente I. All'interno di una bobina di lunghezza L e numero di spire N_2 si ha un campo magnetico:

$$B = \mu_0 \frac{N_2}{L} I$$

dove $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am (permeabilità magnetica).

In questo esperimento si utilizza una bobina cilindrica percorsa da una corrente I(t) variabile nel tempo che genera al suo interno un campo magnetico B(t). All'interno di questa bobina si collocano delle bobine rettangolari di sezione A e numero di spire N_1 differenti. La tensione indotta U in queste bobine è data da

$$U = -\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t} \cdot \mu_0 \cdot A \cdot \frac{N_2}{L} \cdot N_1$$

L'esperimento permette di verificare che la tensione indotta U è proporzionale alla variazione dI/dt rispetto al tempo della corrente I che circola nella bobina di campo, alla sezione A ed al numero di spire N_1 delle bobine indotte. Per eseguire questo esperimento, si può utilizzare Power-CASSY (524 011) oppure il generatore di segnali triangolari (521 56); essi sono particolarmente utili perché permettono di controllare la corrente d'uscita I in modo tale che la pendenza | dI/dt | rimanga costante. Sono disponibili tre bobine di 300 spire ciascuna; la bobina 1 ha una sezione A = 50 x 50 mm^2, la bobina 2 ha A = 30 x 50 mm^2 e la bobina 3 ha A = 20 x 50 mm^2. La bobina 1 è dotata di morsetti addizionali ai quali fanno capo N_1 = 100 e N_1 = 200 spire.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	Power-CASSY	524 011
1	CASSY Lab	524 200
1	µV box	524 040
1	Bobina di campo, d = 120 mm	516 244
1	Supporto per bobine di campo	516 249
1	Serie di bobine d'induzione	516 241
2	Cavi di collegamento, 100 cm, rossi	501 30
2	Cavi di collegamento, 100 cm, blu	501 31
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Alternativamente (senza Power-CASSY)

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	µV box	524 040
1	30-A box	524 043
1	Bobina di campo, d = 120 mm	516 244
1	Supporto per bobine di campo	516 249

1	Serie di bobine d'induzione	516 241
1	Generatore di segnale triangolare	521 56
1	Cavo di collegamento, 50 cm, blu	501 26
2	Cavi di collegamento, 100 cm, rossi	501 30
2	Cavi di collegamento, 100 cm, blu	501 31
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

La bobina di campo è alimentata con |dI/dt| costante da Power-CASSY o da un generatore di segnale triangolare. Nel secondo caso, la corrente si misura all'ingresso A di Sensor-CASSY utilizzando il 30-A box. La tensione indotta si misura mediante il µV box collegato all'ingresso B.

Esecuzione dell'esperimento

a) Misura della tensione indotta U in funzione dell'area A (sezione) delle bobine

- Carica settaggi
- Collocare la bobina 1 (A = 0,0025 m^2, N_1 = 300 spire) all'interno della bobina di campo e collegarla al µV-box.
- Avviare la misura con **F9**.
- Ripetere la misura con le bobine 2 (A = 0,0015 m^2) e 3 (A = 0,0010 m^2).

b) Misura della tensione indotta U in funzione del numero di spire N_1 delle bobine

- Carica settaggi
- Collocare la bobina 1 (N_1 = 300 spire) all'interno della bobina di campo e collegarla al µV box.
- Avviare la misura con **F9**.
- Ripetere la misura sulla bobina 1 con N_1 = 200 ed N_1 = 300.

c) Misura della tensione indotta U in funzione di dI/dt

- Carica settaggi
- Collocare la bobina 1 (N_1 = 300 spire) all'interno della bobina di campo e collegarla al µV box.
- Avviare la misura con **F9**.
- Ripetere la misura riducendo, rispettivamente, la corrente massima I_{max} o dI/dt; per questa operazione, spostare l'indice dello strumento con il mouse e portarlo nella posizione desiderata.

Alternativamente (senza Power-CASSY)

a) Misura della tensione indotta U in funzione della sezione A delle bobine d'induzione

- Carica settaggi
- Collocare la bobina 1 (A = 0,0025 m^2, N_1 = 300 spire) all'interno della bobina di campo e collegarla al µV box.
- Ruotare tutta a destra la manopola della tensione del generatore di segnale triangolare, ruotare la manopola della corrente in modo che la potenza erogata rimanga sotto il limite della soglia di taglio (LED P_{max}).
- Scegliere il valore centrale di dI/dt e spingere il tasto di attivazione del segnale triangolare.
- Avviare la misura con **F9** (la misura inizia in corrispondenza del fronte di salita della tensione indotta U_{B1}; può essere necessario disattivare il trigger).
- Dopo alcuni periodi della corrente, arrestare la misura con **F9**.
- Ripetere la misura con le bobine 2 (A = 0,0015 m^2) e 3 (A = 0,0010 m^2).

b) Misura della tensione indotta U in funzione del numero di spire N_1 delle bobine.

- Carica settaggi
- Collocare la bobina 1 (N_1 = 300 spire) all'interno della bobina di campo e collegarla al µV box.
- Ruotare tutta a destra la manopola della tensione del generatore di segnale triangolare, ruotare la manopola della corrente in modo che la potenza erogata rimanga sotto il limite della soglia di taglio (LED P_{max}).
- Scegliere il valore centrale di dI/dt e spingere il tasto di attivazione del segnale triangolare.
- Avviare la misura con **F9** (la misura inizia in corrispondenza del fronte di salita della tensione indotta U_{B1}; può essere necessario disattivare il trigger).
- Dopo alcuni periodi della corrente, arrestare la misura con **F9**.

- Ripetere la misura sulla bobina 1 con N_1 = 200 ed N_1 = 300.

c) Misura della tensione indotta U in funzione della frequenza del campo di eccitazione

- Carica settaggi
- Collocare la bobina 1 (N_1 = 300 spire) all'interno della bobina di campo e collegarla al µV box.
- Ruotare tutta a destra la manopola della tensione del generatore di segnale triangolare, ruotare la manopola della corrente in modo che la potenza erogata rimanga sotto il limite della soglia di taglio (LED P_{max}).
- Scegliere il valore centrale di dI/dt e spingere il tasto di attivazione del segnale triangolare.
- Avviare la misura con **F9** (la misura inizia in corrispondenza del fronte di salita della tensione indotta U_{B1}; può essere necessario disattivare il trigger).
- Durante la misura aumentare dI/dt ad intervalli di circa 0,4 A/s.
- Arrestare la misura con **F9**.

Valutazione dei risultati

Selezionare con il mouse la parte di esperimento che si vuole prendere in considerazione (cliccare su **Area**, **Numero di Spire** oppure **dI/dt**). Per ogni parametro A, N_1 oppure dI/dt selezionato (valori inseriti mediante tastiera; dI/dt si ricava interpolando con l'andamento lineare), si determina la tensione indotta ed i valori trovati vanno trasferiti in una nuova tabella. Per esempio, la tensione indotta U si può determinare calcolando il valore medio. Si può trascinare questo valore con il mouse dalla linea di stato ed incollarlo nella tabella (trascina & incolla). Il diagramma viene generato durante l'inserimento dei valori.

I tre diagrammi confermano che la tensione indotta U è proporzionale alla sezione A, al numero di spire N_1 ed a dI/dt.

In questo esempio, per ciò che riguarda il coefficiente di proporzionalità tra tensione indotta U e sezione A della bobina si è trovato il valore U/A = 101 mV/m^2 (oppure 129 mV/m^2 senza Power-CASSY) teoricamente, la sua espressione è la seguente

$$\frac{U}{A} = -\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t} \cdot \mu_0 \cdot \frac{N_2}{L} \cdot N_1 \,.$$

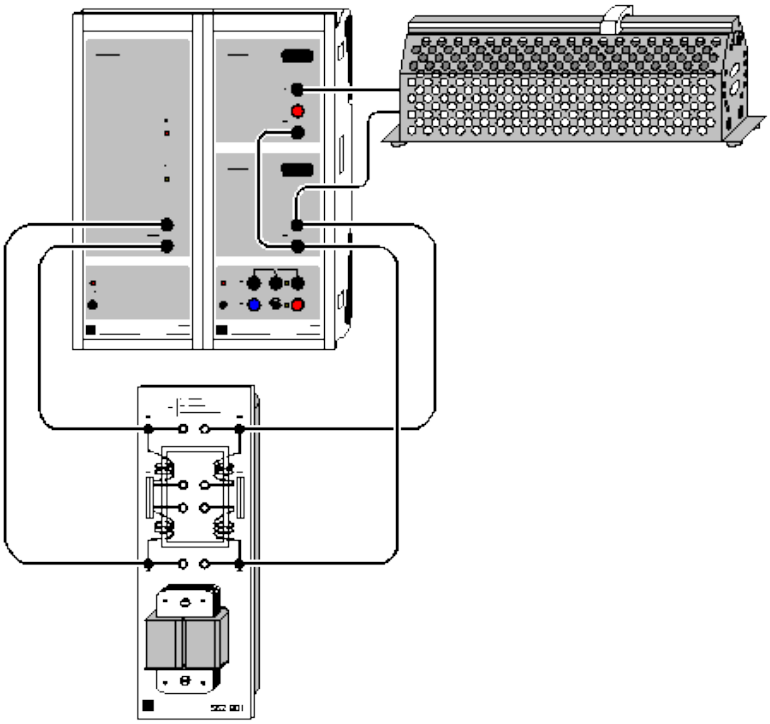
Come confronto, se si considerano due bobine d'induzione in aria aventi N_1 = 300, N_2 = 120 e lunghezza L = 0,4 m, con un aumento di corrente dI/dt = 1,00 A/s (o risp. 1,19 A/s) e permeabilità magnetica $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am, si ottiene per entrambe un coefficiente di proporzionalità U/A = –110 mV/m^2 (o risp. -131 mV/m^2) quindi un valore che concorda con il risultato sperimentale. Il segno negativo dipende dal verso delle spire e dal collegamento al µV box.

Note

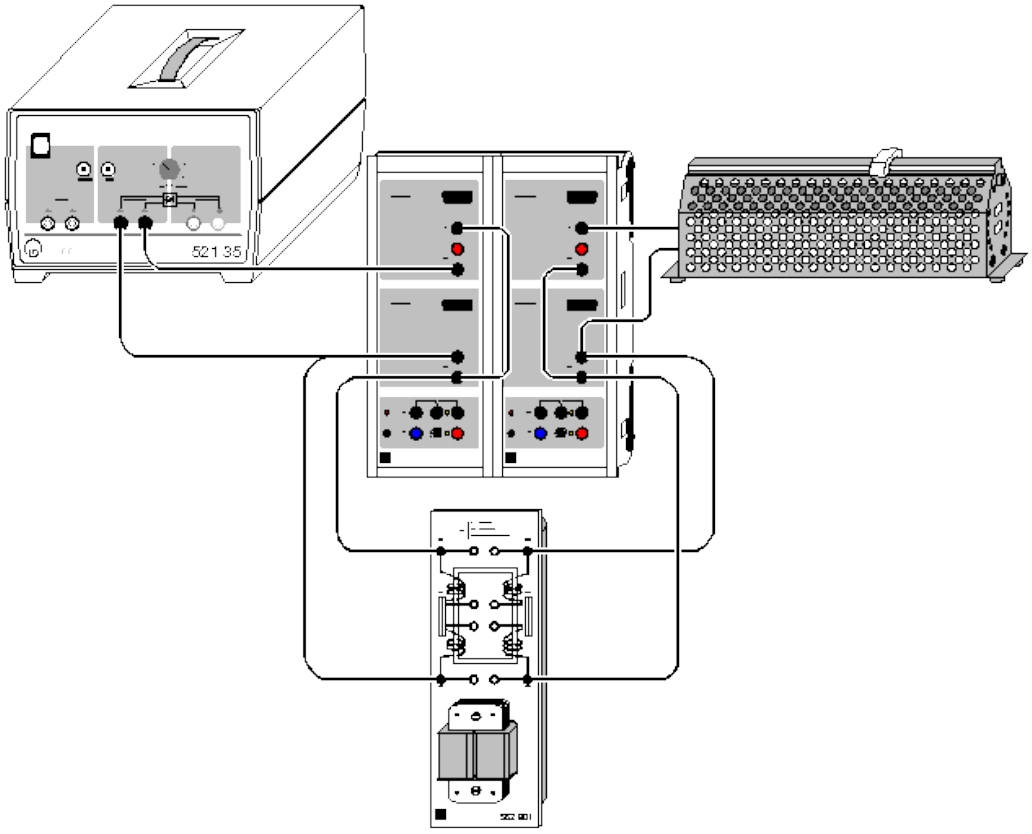
Il µV box può presentare un leggero offset; per correggere tale offset si seleziona **Corretto** nei Settaggi UB, si assegna il valore 0 mV e si sceglie **Offset Corretto**. Verificare che il circuito della prima bobina in aria sia interrotto.

Power-CASSY è in grado di fornire in uscita una frequenza sufficientemente alta, per cui il µV box non è più necessario. In questo caso, alle alte frequenze e con carichi induttivi, si nota che la regolazione di corrente di Power-CASSY presenta una piccola sovraoscillazione che produce degli effetti negativi sulla tensione indotta (derivata prima della corrente). Si può ovviare a questo inconveniente collegando in serie una resistenza di circa 10 Ω.

Tensione e corrente di un trasformatore in funzione del tempo



Alternativamente (senza Power-CASSY):



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

In questo esperimento si determina l'andamento della corrente e della tensione al primario ed al secondario di un trasformatore sotto carico. Note tali grandezze, CASSY Lab determina direttamente l'andamento della potenza al primario ed al secondario, i valori RMS della corrente e della tensione, la relazione di fase e la potenza attiva.

Elenco delle apparecchiature

1	Power-CASSY	524 011
1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Trasformatore per esperimenti didattici	562 801
1	Reostato 100 Ω	537 34
1	Cavo di collegamento, 25 cm, nero	500 414
6	Cavi di collegamento, 100 cm, neri	500 444
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Alternativamente (senza Power-CASSY)

2	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Trasformatore S per basse tensioni	521 35
1	Trasformatore per esperimenti didattici	562 801
1	Reostato 100 Ω	537 34
2	Cavi di collegamento, 25 cm, neri	500 414
8	Cavi di collegamento, 100 cm, neri	500 444
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Si alimenta il primario del trasformatore con Power-CASSY oppure con un trasformatore variabile (circa 6 V AC). Nel secondo caso, si misura la tensione al primario, la corrente al primario e lo sfasamento (cos φ) con un altro Sensor-CASSY.

Sensor-CASSY provvede a misurare anche la tensione, la corrente e lo sfasamento (cos φ) al secondario. Come carico resistivo (cos φ = 1), si utilizza un reostato; però, il trasformatore può lavorare anche con un carico induttivo o capacitivo (cos φ < 1). Si può migliorare la risposta del trasformatore in presenza del carico collegando una bobina in parallelo al primario ed un'altra in parallelo al secondario.

Al posto del trasformatore per esperimenti didattici, si può utilizzare il trasformatore smontabile.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Avviare la misura con **F9**.
- Variare il carico (per es. carico induttivo o capacitivo) ed analizzare la risposta del circuito primario e secondario.
- Variare il numero di bobine al primario ed al secondario del trasformatore ed osservare il comportamento sotto carico.
- Eventualmente, modificare la forma d'onda o la frequenza della tensione al primario in Settaggi U1 di Power-CASSY ed osservare cosa succede.
- Arrestare la misura con **F9**.

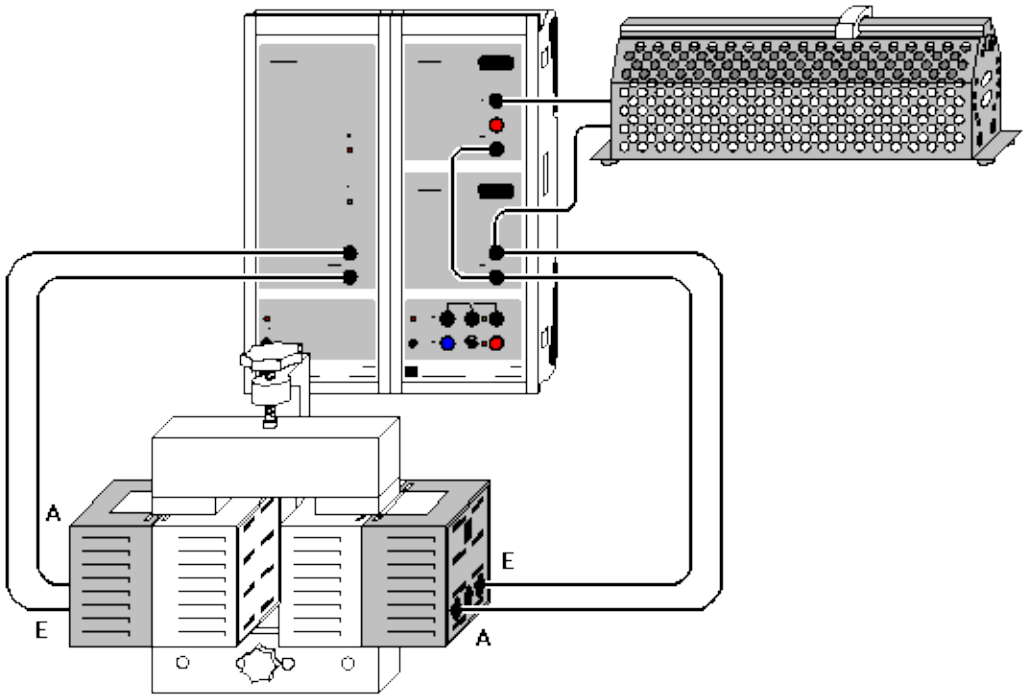
Valutazione dei risultati

Durante o dopo la misura si può modificare la visualizzazione della **Potenza** con il mouse e far comparire, così, l'andamento della potenza al primario ed al secondario in funzione del tempo.

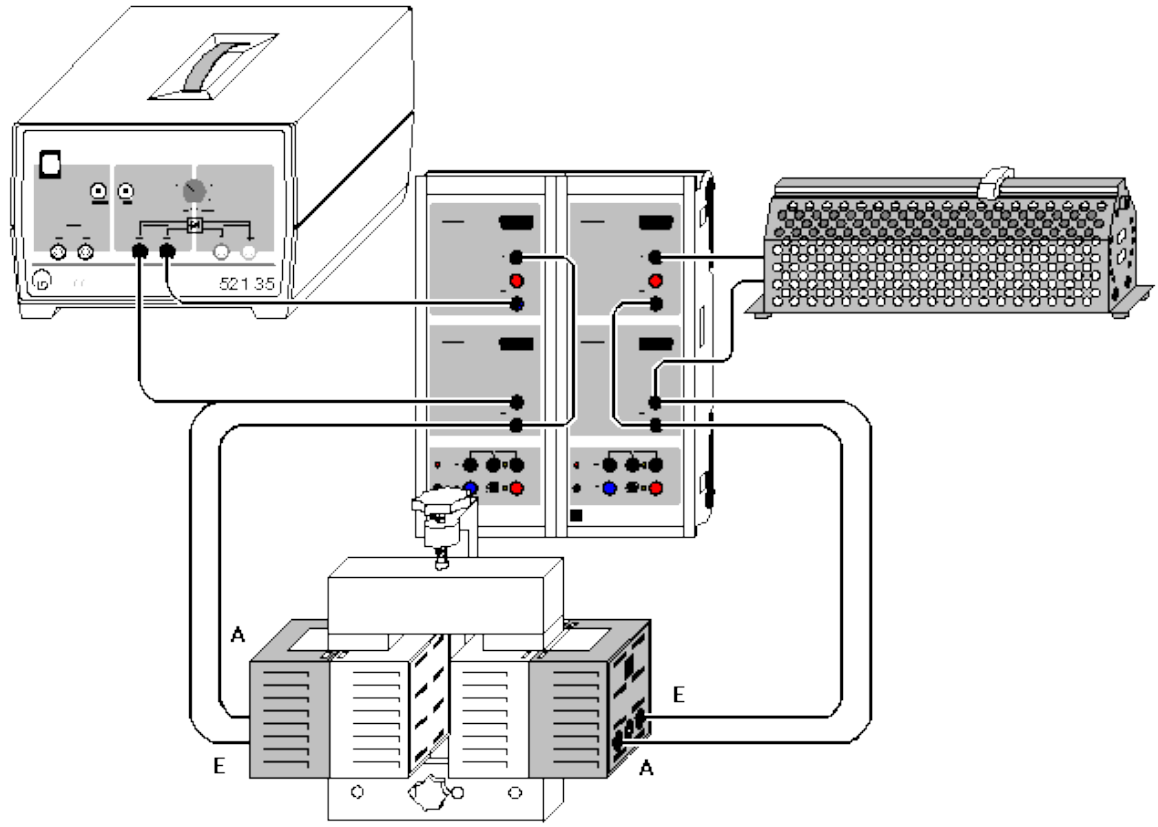
Cenni

Con **F7** si possono mostrare e nascondere contemporaneamente tutti gli strumenti.

Trasformazione della potenza



Alternativamente (senza Power-CASSY):



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

L'esperimento serve ad analizzare il trasferimento della potenza in un trasformatore. In questo caso, si misura contemporaneamente il valore RMS della tensione e della corrente al primario ed al secondario al variare della resistenza di carico R = 0–100 Ω; si determina, inoltre, lo sfasamento tra tensione e corrente al primario ed al secondario. Noti questi valori, si può calcolare la potenza P_1 al primario, la potenza P_2 al secondario, il rendimento $\eta = P_2/P_1$ e determinare come queste grandezze variano in funzione della resistenza di carico R.

Elenco delle apparecchiature

1	Power-CASSY	524 011
1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Nucleo ad U con giogo	562 11
1	Dispositivo di blocco	562 12
2	Bobine di 250 spire	562 13
1	Reostato 100 Ω	537 34
1	Cavo di collegamento, 25 cm, nero	500 414
6	Cavi di collegamento, 100 cm, neri	500 444
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Alternativamente (senza Power-CASSY)

2	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Trasformatore S per basse tensioni	521 35
1	Nucleo ad U con giogo	562 11
1	Dispositivo di blocco	562 12
2	Bobine di 250 spire	562 13
1	Reostato 100 Ω	537 34
2	Cavi di collegamento, 25 cm, neri	500 414
8	Cavi di collegamento, 100 cm, neri	500 444
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Si alimenta il primario del trasformatore con Power-CASSY oppure con un trasformatore variabile (circa 6 V AC). Nel secondo caso, si misura la tensione al primario, la corrente al primario e lo sfasamento (cos φ) con un altro Sensor-CASSY.

Sensor-CASSY misura anche la tensione, la corrente e lo sfasamento (cos φ) al secondario; come carico resistivo (cos φ = 1), si utilizza un reostato.

Al posto del trasformatore smontabile, si può utilizzare il trasformatore per esperimenti didattici.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Posizionare il cursore del reostato al minimo (circa 0 Ω).
- Avviare la misura con **F9**.
- Aumentare la resistenza di un passo alla volta e, ad ogni incremento, misurare le varie grandezze con **F9**.

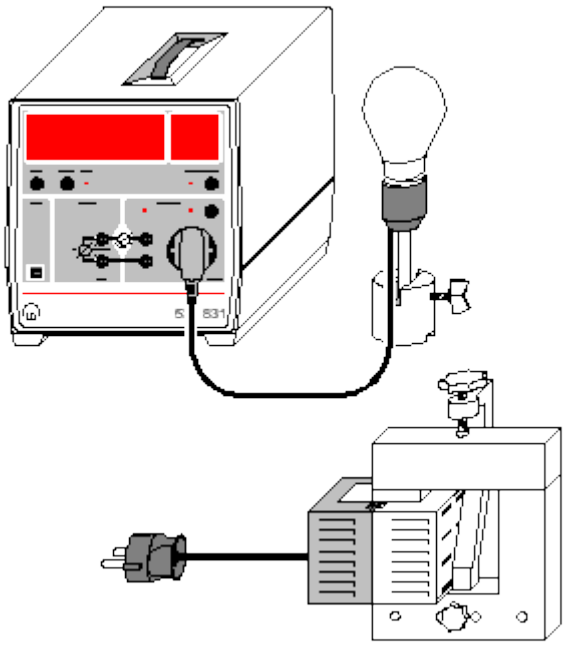
Valutazione dei risultati

Sul diagramma si riesce ad individuare facilmente i punti di massima potenza in uscita e di massimo rendimento.

Cenni

Con **F7** si possono mostrare e nascondere contemporaneamente tutti gli strumenti.

Potenza di carichi arbitrari funzionanti con tensione AC di rete



Carica esempio

Note di sicurezza

Sulla presa del joule e wattmetro, è presente la tensione di rete. Anche se questa tensione può essere spenta attraverso i settaggi del software, rimane un pericolo potenziale. La tensione è di nuovo presente alla fine quando il software viene chiuso.

Descrizione dell'esperimento

Le grandezze dipendenti dal tempo U(t), I(t) e P(t) vengono registrate per vari carichi collegati alla tensione di rete. In aggiunta, si possono visualizzare e confrontare fra loro la potenza attiva P, la potenza apparente S, la potenza reattiva Q e il fattore di potenza cosφ.

La potenza attiva P è il valore medio della potenza istantanea P(t)=U(t)·I(t). La potenza apparente S è definite come il prodotto dei due valori RMS U e I, cioè S=U I. Il fattore di potenza cosφ è il rapporto fra la potenza attiva e quella apparente, cioè cos φ = P/S. Questo si applica anche nel caso di una forma arbitraria della tensione U(t) e della corrente I(t). Però, in questo caso φ non può essere interpretato come uno spostamento di fase fra la corrente e la tensione. Infine, la potenza reattiva Q è calcolata dalla potenza attiva P e dalla potenza apparente S:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

Elenco delle apparecchiature

1	Joule- e watt-metro	531 831
1	Portalampada E27	451 17
1	Lampada a incandescenza 60 W, E27	505 301
1	Lampada a risparmio energetico 14 W, E27	505 3181
1	Zoccolo	300 11
1	Nucleo ad U con giogo	562 11
1	Dispositivo di blocco	562 12
1	Bobina di rete, 230 V	562 21
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Avvitare le lampada nel portalampade o porre la bobina di rete sul nucleo ad U, chiudere il nucleo ad U con il giogo e bloccarlo con il dispositivo di blocco.

Collegare la spina del portalampada o della bobina (accendere la bobina di rete) alla presa del joule- e watt-metro.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Accendere il carico cliccando sullo strumento del display Switch X.
- Avviare la misura con **F9**.
- Spegnere di nuovo il carico.

Valutazione

La tensione di rete AC U(t) ha sempre una forma approssimativamente sinusoidale.

Lampada a incandescenza

Le funzioni I(t) e P(t) sono approssimativamente sinusoidali. La potenza istantanea P(t) prende solo valori positivi. La potenza attiva e quella apparente sono identiche. La potenza reattiva è trascurabile. Il fattore di potenza $\cos\varphi$ è 1.

Lampada a risparmio energetico

Le funzioni I(t) e P(t) non sono sinusoidali. La potenza istantanea P(t) prende solo valori positivi. La potenza attiva è più piccola di quella apparente e di quella reattiva. Il fattore di potenza $\cos\varphi$ è circa 0,64.

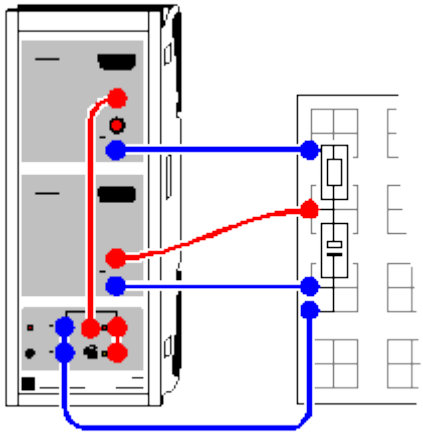
Bobina di rete con nucleo in ferro

Le funzioni I(t) e P(t) non sono sinusoidali. La potenza istantanea P(t) prende sia i valori positive che negativi. La potenza attiva è più piccola di quella apparente e di quella reattiva. Il fattore di potenza $\cos\varphi$ è circa 0,18.

Nota

E' possibile studiare bene altri carichi. Comunque, può essere necessario regolare il campo di misura della corrente (pulsante destro del mouse sul pulsante I). Anche formule e unità per S e Q possono essere regolate (p. es. U*I/1000, se U e i sono visualizzate in V e A, ma S in kW).

Carica e scarica di un condensatore



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Un condensatore si carica o scarica attraverso una resistenza. In questo esperimento si determina l'andamento del tensione ai capi di un condensatore e la corrente durante la carica o la scarica. Da queste curve si può ricavare la costante di tempo τ = RC e l'energia accumulata dal condensatore.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Pannello a spina DIN A4	576 74
3	Condensatori STE, 100 µF	578 39
1	Resistenza STE, 100 Ω	577 32
1	Cavo di collegamento, 50 cm, blu	500 422
1	Coppia di cavi, 25 cm, rosso e blu	501 44
2	Coppie di cavi, 50 cm, rossi e blu	501 45
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Collegare il circuito di carica e scarica agli ingressi A (per la corrente) e B (per la tensione) di Sensor-CASSY come mostrato in figura. Il relè R carica il condensatore con il generatore di tensione S in posizione ON (LED on) e lo scarica quando è in posizione OFF (LED off).

Esecuzione dell'esperimento

a) Scarica

Carica settaggi

- Caricare il condensatore ad una tensione U_{B1} di circa 9,5 V mediante il generatore di tensione S.
- Iniziare la scarica con **F9**.
- Ripetere la scarica con condensatori di capacità diversa (per es. 200 µF e 300 µF).

b) Carica

- Attivazione manuale del relè: in Settaggi Relè R1 cambiare la formula da **1** a **0** e premere Enter.
- Avviare la carica con **F9**.
- Ripetere la carica con condensatori di capacità diversa (per es. 200 µF e 300 µF).

Valutazione dei risultati

Per determinare la costante di tempo τ = RC si può utilizzare per la **Tensione** e la **Corrente** la rappresentazione logaritmica; questa conversione si esegue cliccando sull'asse y con il pulsante destro del mouse. Quando si utilizza la rappresentazione logaritmica, si può migliorare la visualizzazione specificando manualmente i minimi (per es. –1 per log U e –3 per log I). La pendenza A della retta ottenuta per interpolazione con l'andamento lineare risulta A = -0,4343/RC.

La costante di tempo si ottiene con il fit con una funzione esponenziale o un fit libero della funzione A*exp(-x/B) o A*(1-exp(-x/B)) con adatti valori di inizio per la tensione di carica A e la costante di tempo B = RC = τ.

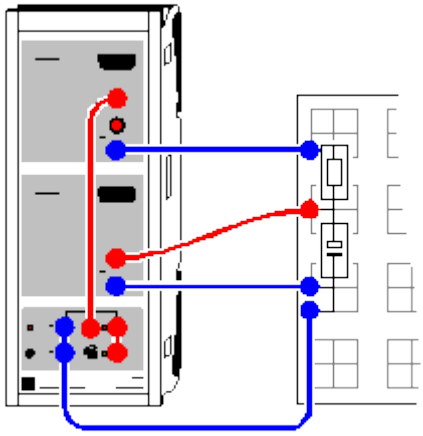
Dalla carica complessiva Q che interviene durante le fasi di carica o di scarica del condensatore si può determinare il valore della capacità C. Infatti, il valore della carica Q è dato dall'integrale della curva I(t) e dalla relazione Q = CU (dove U è la tensione di carica del condensatore).

L'energia immagazzinata è data dall'integrale del diagramma P(t) visualizzato con **Potenza**.

Cenni

Assegnando un trigger, si può definire facilmente l'istante iniziale. In questo caso, conviene utilizzare come trigger la corrente I_{A1} (0,001 A fronte di salita nella fase di carica, oppure –0,001 A fronte di discesa nella fase di scarica). Quando è inserito il trigger, si può usare un commutatore esterno invece del relè per una maggiore chiarezza del circuito.

Carica e scarica di un condensatore (con modellizzazione)



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Un condensatore si carica e scarica attraverso una resistenza. Viene misurata la curva della tensione del condensatore.

Ad integrazione del precedente esperimento, la curva della tensione misurata viene ora confrontata con la curva della tensione $U_C(t)$ ottenuta dalla conservazione dell'energia. La potenza $U \cdot I(t)$ fornita da una sorgente esterna deve essere uguale alla soma della potenza del condensatore $d(1/2 \cdot C \cdot U_C(t)^2)/dt$ e della potenza della resistenza $R \cdot I(t)^2$, i.e.

$U \cdot I(t) = U \cdot Q'(t) = d(1/2 \cdot Q(t)^2/C)/dt + R \cdot I(t)^2 = Q(t)/C \cdot Q'(t) + R \cdot Q'(t)^2$

e, dopo aver risolto rispetto a Q'(t),

$Q'(t) = I(t) = -Q(t)/RC+U/R$.

U è la tensione fornita da una sorgente esterna ed è uguale alla tensione alla fine del processo di carica e scarica. Le costanti R e C corrispondono alla resistenza ed al condensatore usati. La tensione $U_C(t)$ del condensatore è Q(t)/C.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Pannello a spina DIN A4	576 74
3	Condensatori STE, 100 µF	578 39
1	Resistenza STE, 100 Ω	577 32
1	Cavo di collegamento, 50 cm, blu	500 422
1	Coppia di cavi, 25 cm, rosso e blu	501 44
2	Coppie di cavi, 50 cm, rossi e blu	501 45
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Collegare il circuito di carica e scarica agli ingressi A (per la corrente) e B (per la tensione) di Sensor-CASSY come mostrato in figura. Il relè R carica il condensatore con il generatore di tensione S in posizione ON (LED on) e lo scarica quando è in posizione OFF (LED off).

Esecuzione dell'esperimento

a) Scarica

Carica settaggi

- Caricare il condensatore ad una tensione U_{B1} di circa 9,5 V mediante il generatore di tensione S.
- Iniziare la scarica con **F9**.
- Ripetere la scarica con condensatori di capacità diversa (per es. 200 µF e 300 µF).

b) Carica

Carica settaggi

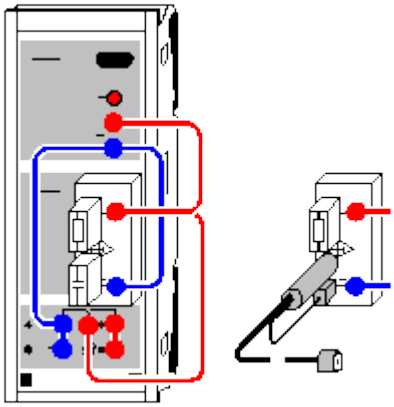
- Avviare la carica con **F9**.
- Ripetere la carica con condensatori di capacità diversa (per es. 200 µF e 300 µF).

Modellizzazione

Per la carica del condensatore, la condizione iniziale è Q(t=0)=0. Le costanti R (resistenza) e C (capacità) e la tensione U fornita da una sorgente esterna possono essere variate possono trascinando l'indice nel display del corrispondente strumento (o ciccando a sinistra o a destra dell'indice) fino a che il modello concorda con la misura.

Per la scarica del condensatore, la condizione iniziale è $Q(t=0)=C \cdot U_0$. Le costanti R (resistenza) e C (capacità) e la tensione U fornita da una sorgente esterna possono essere variate possono trascinando l'indice nel display del corrispondente strumento (o ciccando a sinistra o a destra dell'indice) fino a che il modello concorda con la misura.

Carica e scarica di un piccolo condensatore (capacità di un cavo)



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Un condensatore si carica o scarica attraverso una resistenza. In questo esperimento si determina l'andamento del tensione $U_B(t)$ ai capi di un condensatore e la corrente durante la carica o la scarica $I_A(t)=(U_A-U_B(t))/R$. Da queste curve si può ricavare la costante di tempo $\tau = RC$ e l'energia accumulata dal condensatore.

Per la determinazione della capacità, vengono utilizzati come condensatori piccoli condensatori STE o un cavo BNC.

Per la misura della resistenza alta in un condensatore, viene usato il box elettrometrico.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box Elettrometrico	524 054
1	Resistenza STE, 1 GΩ	577 02
1	Condensatore STE, 47 pF	578 21
1	Condensatore STE, 100 pF	578 22
1	Condensatore STE, 220 pF	578 23
1	Cavo schermato BNC/4 mm, 120 pF	575 24
3	Coppie di cavi, 25 cm, rosso e blu	501 44
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Collegare il circuito di carica e scarica agli ingressi A e B di Sensor-CASSY come mostrato in figura. Il relè R carica il condensatore con il generatore di tensione S in posizione ON (LED on) e lo scarica quando è in posizione OFF (LED off).

Esecuzione dell'esperimento

a) Scarica

Carica settaggi

- Caricare il condensatore ad una tensione U_{B1} di circa 7,5 V mediante il generatore di tensione S.
- Iniziare la scarica con **F9**.
- Ripetere la scarica con condensatori di capacità diversa (per es. 100 pF e 220 pF).

b) Carica

- Attivazione manuale del relè: in Settaggi Relè R1 cambiare la formula da **1** a **0** e premere Enter.
- Avviare la carica con **F9**.
- Ripetere la carica con condensatori di capacità diversa (per es. 100 pF e 220 pF).

Valutazione dei risultati

Per determinare la costante di tempo τ = RC si può utilizzare per la **Tensione** e la **Corrente** la rappresentazione logaritmica; questa conversione si esegue cliccando sull'asse y con il pulsante destro del mouse. Quando si utilizza la rappresentazione logaritmica, si può migliorare la visualizzazione specificando manualmente i minimi (per es. –1 per log U e –3 per log I). La pendenza A della retta ottenuta per interpolazione con l'andamento lineare risulta A = -0,4343/RC.

La costante di tempo si ottiene con il fit con una funzione esponenziale o un fit libero della funzione A*exp(-x/B) o A*(1-exp(-x/B)) con adatti valori di inizio per la tensione di carica A e la costante di tempo B = RC = τ. Per R = 1 GΩ, la costante di tempo in s corrisponde alla capacità in nF.

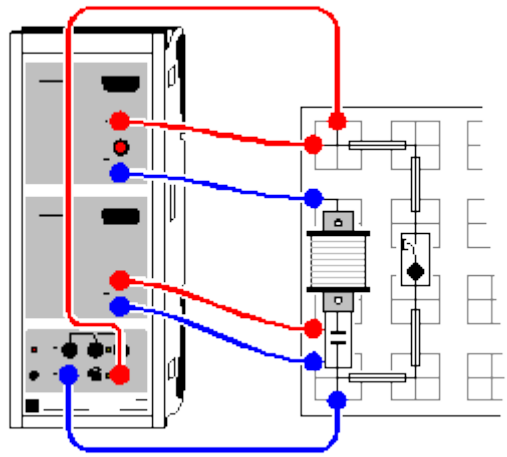
Dalla carica complessiva Q che interviene durante le fasi di carica o di scarica del condensatore si può determinare il valore della capacità C. Infatti, il valore della carica Q è dato dall'integrale della curva I(t) e dalla relazione Q = CU (dove U è la tensione di carica del condensatore).

L'energia immagazzinata E = ½CU^2 è data dall'integrale del diagramma P(t) visualizzato con **Potenza**.

Cenni

Assegnando un trigger, si può definire facilmente l'istante iniziale. In questo caso, conviene utilizzare come trigger la tensione U_{A1} (0,5 V fronte di salita nella fase di carica, oppure 0,5 V fronte di discesa nella fase di scarica). Quando è inserito il trigger, si può usare un commutatore esterno invece del relè per una maggiore chiarezza del circuito.

Oscillatore smorzato



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Si eccita un oscillatore elettrico e si registrano le oscillazioni libere in modo da visualizzare l'attenuazione e la differenza di fase tra U(t) ed I(t). Dall'andamento di tali grandezze si può ricavare la pulsazione ω e l'attenuazione δ dell'oscillazione e fare il confronto con i valori teorici.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Pannello a spina DIN A4	576 74
1	Bobina STE, 1000 spire	590 84
1	Condensatore STE, 1 µF, 5 %	578 15
1	Tasto unipolare STE (n.a.)	579 10
1	Serie di ponticelli a spina	501 48
3	Coppie di cavi, 50 cm, rossi e blu	501 45
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Montare il circuito oscillante nel pannello a spina come indicato in figura. La corrente circola attraverso l'ingresso A di Sensor-CASSY e la tensione viene misurata tramite l'ingresso B. All'inizio della misura, si carica il condensatore mediante il generatore di tensione S. L'innesco dell'oscillazione si ottiene escludendo il generatore di tensione S con il pulsante.

Nota

Al posto del tasto unipolare si può usare il relè R. In questo modo, durante la commutazione, si può generare un segnale parassita che disturba l'oscillazione per qualche istante.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Mediante il generatore di tensione S, caricare il condensatore ad una tensione U_{B1} di circa 9,5 V
- Iniziare la scarica con **F9** (il software attende il segnale di trigger).
- Chiudere il circuito oscillante con il tasto (si genera il segnale di trigger)

Valutazione dei risultati

La frequenza f si può determinare facilmente tramite lo **Spettro di Frequenza** (cliccare su di esso e ricavare il centro del picco). L'ampiezza iniziale e la costante di tempo che caratterizza l'attenuazione si ricavano dai parametri A e B interpolando l'inviluppo.

Si può dimostrare che tra questi parametri e la U(t) intercorre una relazione del tipo y(t) = A*exp(-t/B)*sin(f*t*360). Per la dimostrazione, cambiare i valori dei parametri A, B e della frequenza f in assegnazione formula e selezionare **Adattamento**.

Esempio

Prendendo come esempio l'inviluppo della U(t) ottenuta sperimentalmente, si ha un'ampiezza iniziale A = 6,64 V ed un costante di tempo B = 1,77 ms. L'oscillazione ha una frequenza di 1235 Hz, quindi l'espressione da adattare alla U(t) è la seguente

y(t) = 6,64*exp(-t/0,00177)*sin(1235*t*360)

La I(t) ha la stessa costante di tempo e la stessa frequenza, ma ampiezza iniziale e fase di valore diverso.

Il calcolo dei parametri permette di trarre alcune conclusioni riguardanti i parametri R, L e C del circuito oscillante, infatti in un'oscillazione smorzata si ha:

$U(t) = U_0 \exp(-\delta t) \sin(\omega t)$ dove

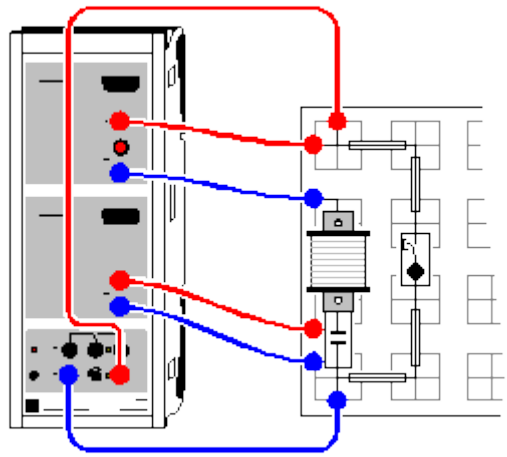
(1) $\omega^2 = \omega_0^2 - \delta^2$,
(2) $\omega_0^2 = 1/LC$ e
(3) $\delta = R/2L$ (= 1/B dell'inviluppo).

Sostituendo i valori ricavati sperimentalmente si ottiene:

$\omega = 2\pi f = 7760$ /s
$\delta = 565$ /s
$\omega_0 = 7781$ /s dalla (1).

Dalla (2), noto il valore della capacità C, si ricava l'induttanza L della bobina. In questo esempio, si ottiene L = 0,0165 H (con C = 1 µF). Dalla (3) si ricava la resistenza R = 18,6 Ω che determina lo smorzamento. Questo risultato concorda con le specifiche della bobina utilizzata (R = 18 Ω).

Oscillatore smorzato (con modellizzazione)



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Si eccita un oscillatore elettrico e si registrano le oscillazioni libere in termini di flusso di corrente nel circuito.

Ad integrazione del precedente esperimento, la curva della corrente misurata viene ora confrontata con la curva della corrente I(t) ottenuta dalla conservazione dell'energia. La somma della potenza del condensatore $d(1/2 \cdot C \cdot U_C(t)^2)/dt$, della potenza della bobina $d(1/2 \cdot L \cdot I(t)^2)/dt$ e della potenza della resistenza $R \cdot I(t)^2$ deve essere zero poiché non viene fornita energia durante l'oscillazione libera, cioè

$$d(1/2 \cdot Q(t)^2/C)/dt + d(1/2 \cdot L \cdot I(t)^2)/dt + R \cdot I(t)^2 = Q(t)/C \cdot Q'(t) + L \cdot Q'(t) \cdot Q''(t) + R \cdot Q'(t)^2 = 0$$

e, dopo aver risolto rispetto a Q''(t),

$$Q''(t) = I'(t) = -Q(t)/LC - R \cdot Q'(t)/L.$$

Le costanti R, L e C corrispondono alla resistenza, alla bobine ed al condensatore usati.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Pannello a spina DIN A4	576 74
1	Bobina STE, 1000 spire	590 84
1	Condensatore STE, 1 µF, 5 %	578 15
1	Tasto unipolare STE (n.a.)	579 10
1	Serie di ponticelli a spina	501 48
3	Coppie di cavi, 50 cm, rossi e blu	501 45
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Montare il circuito oscillante nel pannello a spina come indicato in figura. La corrente circola attraverso l'ingresso A di Sensor-CASSY e la tensione viene misurata tramite l'ingresso B. All'inizio della misura, si carica il condensatore mediante il generatore di tensione S. L'innesco dell'oscillazione si ottiene escludendo il generatore di tensione S con il pulsante.

Esecuzione dell'esperimento

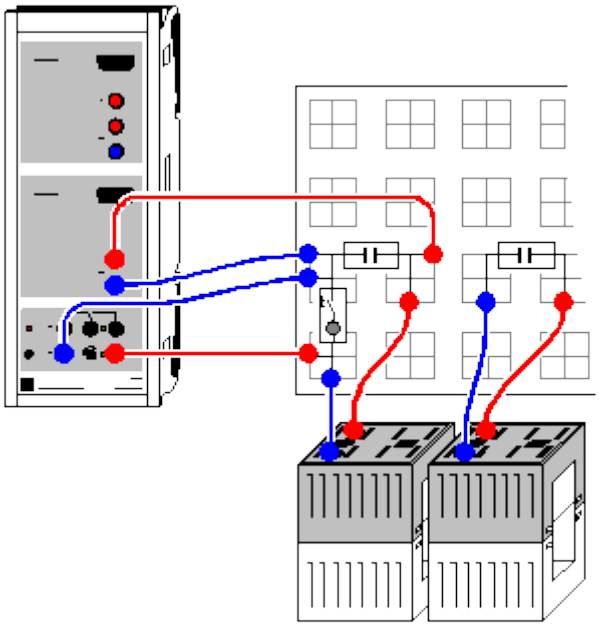
Carica settaggi

- Mediante il generatore di tensione S, caricare il condensatore ad una tensione U_{B1} di circa 9,5 V
- Iniziare la scarica con **F9** (il software attende il segnale di trigger).
- Chiudere il circuito oscillante con il tasto (si genera il segnale di trigger)

Modellizzazione

La condizione iniziale per la carica Q del condensatore è $Q(t=0)=-U_0 \cdot C$ con la tensione iniziale U_0. Questa tensione U_0 non è esattamente la tensione di carica del condensatore poiché la misura è iniziata un po' più tardi. Quindi la seconda condizione iniziale è semplicemente $I(t=0)=0$. Le costanti R (resistenza), C (capacità) e L (induttanza) e la tensione iniziale U_0 possono essere variate possono trascinando l'indice nel display del corrispondente strumento (o ciccando a sinistra o a destra dell'indice) fino a che il modello concorda con la misura. La resistenza ohmica della bobina (circa 20 Ω) deve essere presa in considerazione quando viene determinate la resistenza R di attenuazione.

Oscillatori accoppiati



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

In questo esperimento si confronta lo spettro di frequenza di due oscillatori elettrici accoppiati per mutua induzione con lo spettro di frequenza di un oscillatore elettrico semplice. Applicando la trasformata di Fourier, si trova che la risposta di due oscillatori mutuamente accoppiati si sdoppia in modo simmetrico rispetto a quella di un circuito oscillatore singolo; l'entità di tale sdoppiamento dipende dall'accoppiamento dei due circuiti.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Pannello a spina DIN A4	576 74
1	Tasto unipolare STE (n.a.)	579 10
2	Condensatori STE, 1 µF, 5 %	578 15
2	Bobine di 500 spire	562 14
4	Coppie di cavi, 50 cm, rossi e blu	501 45
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Montare il primo circuito oscillante come indicato in figura. La tensione ai capi del condensatore viene misurata attraverso l'ingresso B di Sensor-CASSY. All'inizio dell'esperimento, si carica il condensatore mediante il generatore di tensione S. L'innesco dell'oscillazione si ottiene escludendo il generatore di tensione S con il pulsante.

Montare a parte il secondo oscillatore. Per accoppiare i due oscillatori, mettere le rispettive bobine una accanto all'altra.

Nota

Al posto del tasto unipolare si può usare il relè R. In questo modo, durante la commutazione, si può generare un segnale parassita che disturba l'oscillazione per qualche istante.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Mediante il generatore di tensione S, caricare il condensatore ad una tensione U_{B1} di circa 9,5 V.

- Avviare la misura con **F9** (il software attende il segnale di trigger).
- Chiudere il circuito oscillante con il tasto (si genera il segnale di trigger).
- Per accoppiare i due oscillatori, mettere le loro bobine una accanto all'altra.
- Avviare la misura con **F9** (il software attende il segnale di trigger).
- Chiudere il circuito oscillante con il tasto (si genera il segnale di trigger).

Valutazione dei risultati

Nel caso di un solo oscillatore, si ottiene un'oscillazione armonica smorzata. L'oscillazione accoppiata consiste in un battimento avente lo stesso inviluppo e la stessa frequenza di oscillazione.

Con un solo oscillatore, lo **Spettro di Frequenza** presenta un solo massimo per cui la frequenza si può determinare come centro del picco.

Con due oscillatori accoppiati, la frequenza si sdoppia simmetricamente in due righe di frequenza diversa. L'ampiezza delle due righe è esattamente la metà della riga generata da un solo oscillatore, l'intervallo che le separa dipende dall'accoppiamento.

Dalle equazioni differenziali di due circuiti accoppiati

$$\begin{aligned} L\ddot{I}_1 + kL\ddot{I}_2 + I_1/C &= 0 \\ L\ddot{I}_2 + kL\ddot{I}_1 + I_2/C &= 0 \end{aligned}$$

noto il coefficiente di accoppiamento k ($0 \le k < 1$), si possono calcolare le due frequenze naturali ω_1 ed ω_2 date da

$$\frac{\omega_0}{\sqrt{1+k}} = \omega_1 < \omega_0 < \omega_2 = \frac{\omega_0}{\sqrt{1-k}}.$$

In particolare, la frequenza di oscillazione del circuito accoppiato è uguale a

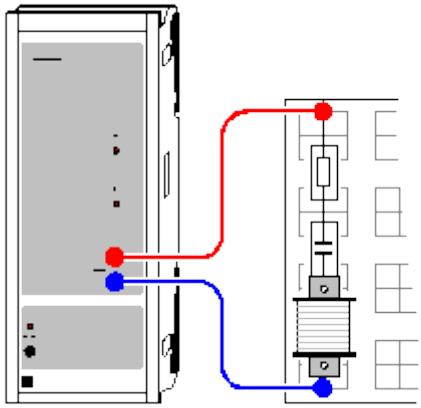
$$\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} = \frac{\omega_0}{\sqrt{1-k^2}} \approx \omega_0$$

e quindi un valore praticamente uguale a quello di un circuito singolo (per piccoli valori di k).

Nota

Lo sdoppiamento in due picchi uguali è possibile solo con oscillatori perfettamente identici. A causa della tolleranza delle induttanze L e dei condensatori C, questo non si verifica quasi mai.

Oscillazioni forzate (risonanza)



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

In questo esperimento, si applica un segnale sinusoidale di frequenza f variabile ed ampiezza costante ad un circuito risonante serie RLC. Dopo un breve intervallo di tempo, il circuito diventa sede di oscillazioni di frequenza f.

Nel corso dell'esperimento si determina il valore RMS della corrente I e lo sfasamento φ tra la corrente e la tensione applicata in funzione della frequenza f e la resistenza di smorzamento R. I luoghi dei punti evidenziano l'addizione di resistenze complesse.

Elenco delle apparecchiature

1	Power-CASSY	524 011
1	CASSY Lab	524 200
1	Pannello a spina DIN A4	576 74
1	Bobina STE, 500 spire	590 83
1	Condensatore STE 4,7 µF, 5 %	578 16
2	Resistenze STE 1 Ω	577 19
1	Resistenza STE 5,1 Ω	577 21
1	Resistenza STE 10 Ω	577 20
1	Resistenza STE 20 Ω	577 23
1	Resistenza STE 47 Ω	577 28
1	Coppia di cavi, 50 cm, rosso e blu	501 45
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Montare l'oscillatore come indicato in figura e collegarlo a Power-CASSY. Collegare in serie le varie resistenze di smorzamento.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Avviare la misura con **F9**. La frequenza f aumenta automaticamente a piccoli salti. Dopo un breve intervallo di tempo, per ciascun valore di frequenza, il software misura e visualizza il valore RMS della corrente I ed il cos φ dovuto allo sfasamento tra tensione e corrente.
  La dimensione del passo è variabile e dipende dalla definizione del numero n_0, dalla frequenza di partenza f_0 e dal valore approssimato f_1 della frequenza di risonanza. Fra le due frequenze f_0 e f_1, sono registrati n_0 valori. Così la frequenza f è aumentata inoltre in modo che sia circa $f=f_1$, cioè la frequenza di risonanza, I valori sono registrati con una densità particolarmente alta. Con ciò il tempo di misura richiesto viene ridotto notevolmente come dal confronto con passi di frequenze con uguale spaziatura. Le specifiche possono essere cambiate spostando il cursore con il mouse oppure cambiando i valori dei parametri ciccando con il tasto destro del mouse.

La condizione di misura **f < 5*f1 and f < 5000 and delta t > 2/f+2** abilita la registrazione dei valori misurati fino a 5 kHz (o 5 volte la frequenza di risonanza), ma non prima di 2/f+2 s dopo un aumento della frequenza (tempo transitorio).

- Raggiunto il valore di frequenza desiderato, arrestare la misura con **F9**.
- Ripetere la misura con resistenze di smorzamento diverse.

Valutazione dei risultati

La frequenza di risonanza si può determinare esattamente, per esempio, determinando il centro di picco nella visualizzazione **Risonanza**.

In altre visualizzazioni, sono mostrate anche la **Potenza** e la **Fase** in funzione della frequenza.

Le ultime due visualizzazioni mostrano i **Luoghi** per la resistenza complessa Z del circuito oscillante e la conduttanza complessa Y. Nella rappresentazione Z, è visualizzata esattamente la somma delle resistenze complesse nel collegamento in serie: $Z = R + i\omega L + 1/i\omega C$. Come nell'esempio solo la frequenza ω, che è la parte immaginaria di Z, varia per ogni resistenza di smorzamento, la parte reale ohmica rimane costante. Così le linee verticali sono generate nel piano complesso e le distanze dall'asse immaginario sono uguali alla resistenza ohmica R. La bobina dell'esempio ha una resistenza interna di circa 4 Ω. Perciò la distanza dall'asse immaginario è maggiore di quella delle singole resistenze di smorzamento di circa 4 Ω.

Nota

Per un circuito AC si può scrivere

$U = |U| * e^{i\omega t}$ e $I = |I| * e^{i(\omega t+\varphi)}$

Dove la resistenza complessa Z = U/I non dipende più da t

$Z = |U|/|I| * e^{-i\varphi} = |Z| * e^{-i\varphi}$ (luogo Z)

Dall'altra parte c'è

$Y = 1/Z = 1/|Z| * e^{i\varphi}$ (luogo Y)

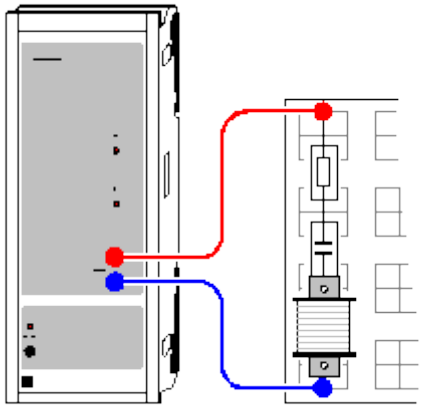
Il luogo Y corrisponde all'inverso complesso del luogo Z (r -> -r, φ -> -φ). Questa trasformazione modifica le linee rette $Z = R + i\omega L + 1/i\omega C$ dei luoghi Z in cerchi nella rappresentazione Y (inversione rispetto al cerchio unitario).

Avviso

Con **F7** tutti gli strumenti di misura possono essere nascosti e visualizzati contemporaneamente.

Per rappresentare in scala logaritmica i valori della frequenza o della corrente, è sufficiente cliccare sull'asse corrispondente con il pulsante destro del mouse.

Oscillazioni forzate (risonanza, con modellizzazione)



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Si applica un segnale sinusoidale di frequenza f variabile ed ampiezza costante ad un circuito risonante serie RLC. Dopo un breve intervallo di tempo, il circuito diventa sede di oscillazioni di frequenza f.

Ad integrazione del precedente esperimento, la curva della corrente misurata viene ora confrontata con la curva della corrente I(t) ottenuta dalla conservazione dell'energia. La potenza $U(t)\cdot I(t)$ fornita da una sorgente esterna deve essere uguale alla soma della potenza del condensatore $d(1/2\cdot C\cdot U_C(t)^2)/dt$, della potenza della bobina $d(1/2\cdot L\cdot I(t)^2)/dt$ e della potenza della resistenza $R\cdot I(t)^2$, cioè.

$$U(t)\cdot I(t) = U(t)\cdot Q'(t) = d(1/2\cdot Q(t)^2/C)/dt + d(1/2\cdot L\cdot I(t)^2)/dt + R\cdot I(t)^2 = Q(t)/C\cdot Q'(t) + L\cdot Q'(t)\cdot Q''(t) + R\cdot Q'(t)^2$$

e, dopo aver risolto rispetto a Q''(t),

$$Q''(t) = I'(t) = U(t)/L - Q(t)/LC - R\cdot Q'(t)/L.$$

Le costanti R, L e C corrispondono alla resistenza, alla bobina ed al condensatore usati.

Elenco delle apparecchiature

1	Power-CASSY	524 011
1	CASSY Lab	524 200
1	Pannello a spina DIN A4	576 74
1	Bobina STE, 500 spire	590 83
1	Condensatore STE 4.7 µF, 5 %	578 16
2	Resistenze STE 1 Ω	577 19
1	Resistenza STE 5.1 Ω	577 21
1	Resistenza STE 10 Ω	577 20
1	Resistenza STE 20 Ω	577 23
1	Resistenza STE 47 Ω	577 28
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Montare l'oscillatore come indicato in figura e collegarlo a Power-CASSY. Collegare in serie le varie resistenze di smorzamento.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

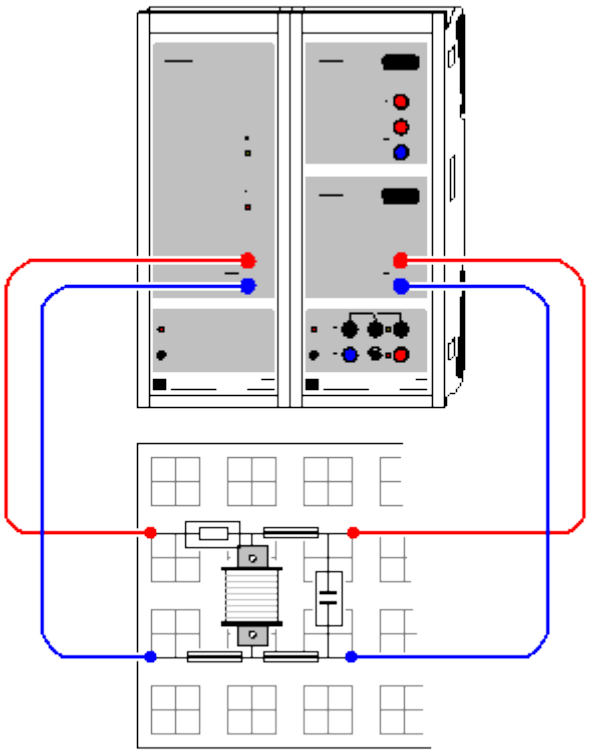
- Avviare la misura con **F9**.
- Ripetere la misura con un'altra frequenza f (muovere l'indice del display dello strumento) o con altre resistenze di attenuazione se necessario.

Modellizzazione

Le condizioni iniziali per la carica Q e la corrente I sono entrambe zero in quanto non ci sono tensione e corrente nel circuito oscillatore prima della misura. Le costanti R (resistenza), C (capacità) e L (induttanza) possono essere variate possono trascinando l'indice nel display del corrispondente strumento (o ciccando a sinistra o a destra dell'indice) fino a che il modello concorda con la misura. La resistenza ohmica della bobina (circa. 4 Ω) deve essere presa in considerazione quando viene determinata la resistenza R di attenuazione.

Il Power-CASSY viene acceso solo per la frequenza di eccitazione quando si avvia la misura. Quindi viene visto il processo di oscillazione transitoria del circuito oscillatore. In funzione dell'attenuazione e della frequenza, si vede che il circuito oscillatore inizialmente oscilla con una sua frequenza naturale (frequenza di risonanza) prima dell'oscillazione forzata dalla frequenza di eccitazione.

Filtro RLC (passa basso, passa alto, passa banda)



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

In questo esperimento, si applica all'ingresso di un filtro un segnale sinusoidale di frequenza f variabile ed ampiezza costante; il filtro è formato da una resistenza ed un condensatore (RC), da una resistenza ed una bobina (RL) oppure da una resistenza ed un circuito risonante LC di tipo parallelo (RLC). All'uscita del filtro si ottiene un segnale sinusoidale di frequenza f.

L'esperimento permette di analizzare il valore RMS della tensione di uscita U e la corrente I, le impedenze $Z_1 = 1/(1/i\omega L + i\omega C)$ (solo LC) e $Z = R + 1/(1/i\omega L + i\omega C)$ (R con LC) e lo sfasamento φ tra la corrente e la tensione applicata in funzione della frequenza f.

L'esperimento mostra in modo chiaro il comportamento del filtro passa basso (RC), del filtro passa alto (RL) e del filtro passa banda (RLC); è possibile valutare anche le impedenze, lo sfasamento e la risonanza parallelo del filtro RLC. I l luoghi rappresentano l'addizione di resistenze complesse.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	Power-CASSY	524 011
1	CASSY Lab	524 200
1	Pannello a spina DIN A4	576 74
1	Resistenza STE 100 Ω	577 32
1	Bobina STE, 500 spire	590 83
1	Condensatore STE 4,7 µF, 5 %	578 16
2	Coppia di cavi, 50 cm, rosso e blu	501 45
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Collegare il filtro elettrico al Power-CASSY e al Sensor-CASSY come mostrato nel diagramma. E' possibile variare il tipo di filtro (RC, RL or RLC) durante l'esperimento togliendo o inserendo la bobina (L) o il condensatore (C).

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

- Carica settaggi
- Realizzare il filtro RC togliendo la bobina.
- Avviare la misura con **F9**. La frequenza f aumenta automaticamente a piccoli salti. Dopo un breve intervallo di tempo, il software misura e visualizza il valore RMS della tensione U e della corrente I. La dimensione del passo è variabile e dipende dalla definizione del numero n_0, dalla frequenza di partenza f_0 e dal valore approssimato f_1 della frequenza di risonanza. Fra le due frequenze f_0 e f_1, sono registrati n_0 valori. Così la frequenza f è aumentata inoltre in modo che sia circa $f=f_1$, cioè la frequenza di risonanza, i valori sono registrati con una densità particolarmente alta. Con ciò il tempo di misura richiesto viene ridotto notevolmente come dal confronto con passi di frequenze con uguale spaziatura. Le specifiche possono essere cambiate spostando il cursore con il mouse oppure cambiando i valori dei parametri ciccando con il tasto destro del mouse.
  La condizione di misura **f < 5*f1 and f < 5000 and delta t > 2/f+3** abilita la registrazione dei valori misurati fino a 5 kHz (o 5 volte la frequenza di risonanza), ma non prima di 2/f+3 s dopo un aumento della frequenza (tempo transitorio).
- Raggiunto il valore di frequenza desiderato, arrestare la misura con **F9**.
- Ripetere la misura con il filtro RL ed il filtro RLC.

Valutazione dei risultati

Visualizzando la **Tensione di Uscita** e la **Corrente d'Ingresso** (selezionabili con il mouse), si ottiene l'andamento di queste grandezze in funzione della frequenza. Il filtro RC (passa basso) attenua la tensione di uscita alle alte frequenze; nell'intervallo di una ottava (raddoppiamento della frequenza) il segnale si riduce di circa la metà. Il filtro RL, invece, attenua le basse frequenze (passa alto); anche in questo caso, nell'intervallo di una ottava (dimezzamento della frequenza) il segnale si riduce di circa la metà. Il filtro RLC attenua le frequenze diverse dalla frequenza di risonanza del circuito risonante parallelo LC utilizzato nei singoli filtri. Si nota, infatti, che la tensione di uscita risulta massima in un intorno della frequenza di risonanza (passa banda). La frequenza di risonanza non dipende da R.

È anche possibile calcolare e visualizzare le due impedenze Z_1 (solo LC) e Z (R con LC). La resistenza del circuito risonante parallelo LC è massima alla frequenza di risonanza (in un circuito risonante ideale è infinita). La corrente risulta minima e dipende dalla tensione applicata ai capi della resistenza. Di conseguenza, il massimo della tensione si ha nella condizione di risonanza.

Visualizzando la **Fase**, si ottiene la variazione di fase tra tensione applicata e la corrente che circola.

Le ultime due visualizzazioni mostrano i **Luoghi** per la resistenza complessa Z del filtro e la conduttanza complessa Y. Nella rappresentazione Z, è rappresentata esattamente la somma delle resistenze complesse nel collegamento in serie. Per un passa basso si ha $Z = R + 1/i\omega C$ e per un passa alto $Z = R + i\omega L$. Come nell'esempio, solo la frequenza ω, che è la parte immaginaria di Z, varia, la parte reale ohmica rimane costante. Così le linee verticali sono generate nel piano complesso e le distanze dal piano immaginario sono uguali alla resistenza ohmica R. La bobina nell'esempio ha una resistenza ohmica interna di circa 4 Ω. Nel caso del passa alto, la distanza dall'asse immaginario è maggiore di circa 4 Ω che nel caso del passa basso.

Nota

Per un circuito AC si può scrivere

$U = |U| * e^{i\omega t}$ e $I = |I| * e^{i(\omega t+\varphi)}$

Dove la resistenza complessa $Z = U/I$ non dipende più da t

$Z = |U|/|I| * e^{-i\varphi} = |Z| * e^{-i\varphi}$ (luogo Z)

Dall'altra parte si ha

$Y = 1/Z = 1/|Z| * e^{i\varphi}$ (luogo Y)

Il luogo Y corrisponde all'inverso del complesso del luogo Z ($r \to -r$, $\varphi \to -\varphi$). Questa trasformazione modifica le linee rette $Z = R + 1/i\omega C$ e $Z = R + i\omega L$ del luogo Z in semicerchi nella rappresentazione Y (inverso rispetto al cerchio unitario).

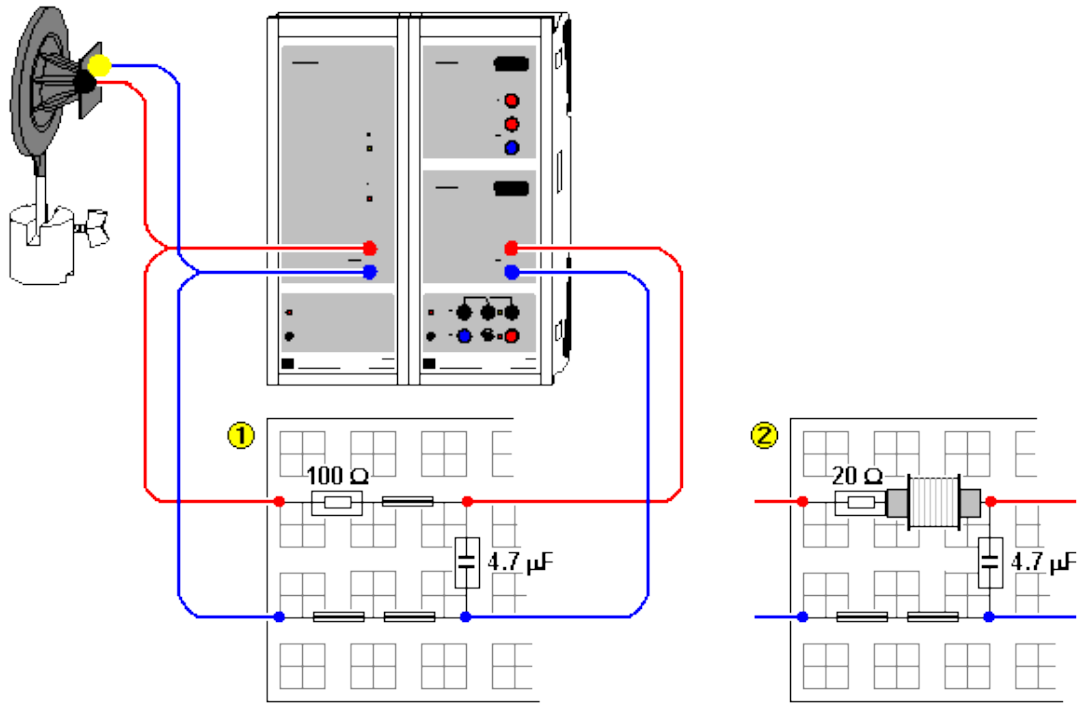
Avviso

Con **F7** tutti gli strumenti di misura possono essere nascosti e visualizzati contemporaneamente.

Per rappresentare in scala logaritmica i valori della frequenza o della corrente, è sufficiente cliccare sull'asse corrispondente con il pulsante destro del mouse.

Mediante la rappresentazione log-log si ha la possibilità di valutare facilmente l'attenuazione di 6 dB/ottava (oppure 20 dB/decade) poiché ad essa corrisponde una pendenza di ±1.

Filtro passa basso (con modellizzazione)



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Nel primo esperimento, si applicano impulsi rettangolari con ampiezza costante a un filtro passa basso del primo ordine ① composto da una resistenza ed un condensatore (RC) o a un filtro passa basso del secondo ordine ② composto da una resistenza, una bobina e un condensatore (RLC). Viene studiata la risposta del filtro a questi impulsi (risposta al gradino) e confrontata con un modello.

Nel secondo esperimento, si applica ad un filtro passa basso un segnale di ingresso di frequenza variabile (disturbo). Si applica sia al segnale d'ingresso che al segnale di uscita misurato una trasformata di Fourier, ed i due spettri delle frequenze sono divisi l'uno dall'altro. La variazione di ampiezza dipendente dalla frequenza (risposta in ampiezza) ottenuta con questa procedura viene visualizzata e confrontata con un modello.

Le equazioni dei modelli del primo ordine (RC) e del secondo ordine (RLC) seguono dalla conservazione dell'energia. La potenza $U(t)\cdot I(t)$ fornita da una sorgente esterna deve essere uguale alla somma della potenza del condensatore $d(1/2\cdot C\cdot U_C(t)^2)/dt$, della potenza della bobina $d(1/2\cdot L\cdot I(t)^2)/dt$ e della potenza della resistenza $R\cdot I(t)^2$, cioè.

$$U(t)\cdot I(t) = U(t)\cdot Q'(t) = d(1/2\cdot Q(t)^2/C)/dt + d(1/2\cdot L\cdot I(t)^2)/dt + R\cdot I(t)^2 = Q(t)/C\cdot Q'(t) + L\cdot Q'(t)\cdot Q''(t) + R\cdot Q'(t)^2.$$

Per un filtro passa basso del primo ordine (L = 0) questo dà

$$Q_{RC}'(t) = -Q_{RC}(t)/RC+U(t)/R$$

E per un passa basso del secondo ordine (L > 0)

$$Q_{RLC}''(t) = I_{RLC}'(t) = U(t)/L-Q_{RLC}(t)/LC-R\cdot Q_{RLC}'(t)/L.$$

Le costanti R, L e C corrispondono alla resistenza, alla bobina ed al condensatore usati. In funzione dell'ordine, la tensione di uscita dei filtri è rispettivamente $U_{RC}(t)=Q_{RC}(t)/C$ o $U_{RLC}(t)=Q_{RLC}(t)/C$.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	Power-CASSY	524 011
1	CASSY Lab	524 200
1	Pannello a spina DIN A4	576 74

1	Resistenza STE 20 Ω	577 23
1	Resistenza STE 47 Ω	577 28
1	Resistenza STE 100 Ω	577 32
1	Bobina STE, 500 spire	590 83
1	Condensatore STE 4,7 µF, 5 %	578 16
2	Coppie di cavi, 50 cm, rosso e blu	501 45
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

si raccomanda:

1	Altoparlante per alta frequenza	587 07
1	Zoccolo	300 11
1	Nucleo in ferro, laminato	da 593 21
1	Coppia di cavi, 50 cm, rosso e blu	501 45

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Collegare il filtro passa basso del primo e del secondo ordine al Power-CASSY e al Sensor-CASSY come mostrato nel disegno. Per incrementare l'induttanza L della bobina, si può usare un nucleo di ferro laminato. Si raccomanda di collegare l'altoparlante all'uscita del Power-CASSY per una migliore comprensione della misura della risposta in ampiezza.

Esecuzione dell'esperimento

a) Risposta al gradino

- Carica settaggi
- Realizzare il filtro RC (primo ordine) o RLC (secondo ordine).
- Avviare la misura con **F9**.
- Ripetere la misura con un'altra frequenza f (spostare l'indice nel display dello strumento di misura) o con un altro ordine se necessario.

b) Risposta in ampiezza

- Carica settaggi
- Realizzare il filtro RC (primo ordine) o RLC (secondo ordine).
- Avviare la misura con **F9**.
- Ripetere la misura con un altro ordine se necessario.

Modellizzazione

Le costanti R (resistenza), C (capacità) e L (induttanza) possono essere variate possono trascinando l'indice nel display del corrispondente strumento (o ciccando a sinistra o a destra dell'indice) fino a che il modello concorda con la misura. La resistenza ohmica della bobina (circa. 4 Ω) deve essere presa in considerazione quando viene determinata la resistenza R di attenuazione.

a) Risposta al gradino

Le visualizzazioni del **Modello RC** e del **Modello RLC** (selezionare con il mouse) mostrano il confronto della risposta del filtro con il corrispondente modello. La frequenza di eccitazione è continua dal Power-CASSY. Quindi il processo di oscillazione transitoria del filtro non è visibile nel segnale misurato. Per il calcolo all'avvio deve essere scelto un periodo prima dello zero, cioè, t_0=–1/f, affinchè il processo di oscillazione transitoria sia invisibile anche nel modello.

In aggiunta le visualizzazioni dello **Spettro in frequenza RC** e **Spettro in frequenza RLC** permettono di confrontare l'attenuazione del segnale d'ingresso in funzione della frequenza e dell'ordine del filtro. Questo confronto è possibile anche dalla misura diretta della risposta in ampiezza.

b) Risposta in ampiezza

Il Power-CASSY eccita il filtro ad una frequenza variabile (disturbo). In questo disturbo la frequenza aumenta molto velocemente da 0 Hz a circa 2500 Hz. Nella **Risposta in ampiezza**, viene visualizzato il rapporto delle ampiezze del segnale di uscita e del segnale d'ingresso del filtro. La curva nera è la curva misurata, la curva rossa è il risultato del modello del primo ordine, e la curva blu mostra il modello del secondo ordine.

Durante la misura, il filtro non deve sovraccaricare il Sensor-CASSY (vedere visualizzazione **Standard**). Se necessario, ripetere la misura con un diminuzione dell'ampiezza A o un aumento della resistenza R.

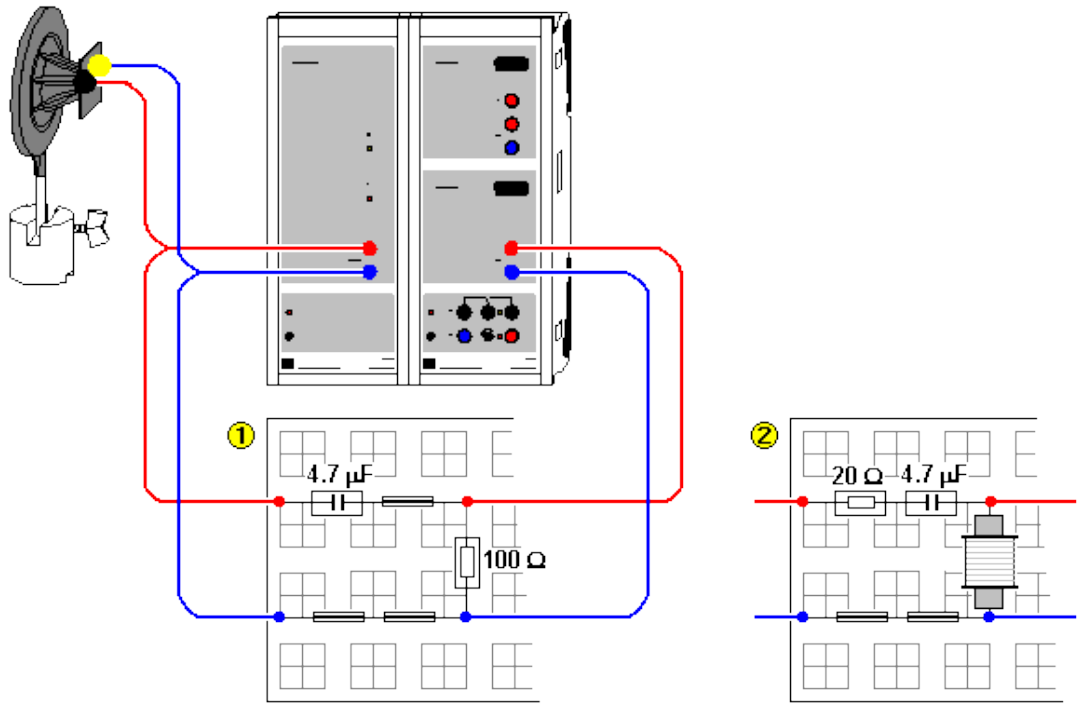
Nota relativa alla misura della risposta in ampiezza

Quando viene cambiata la frequenza f base del disturbo (f = 2,5 Hz nell'esempio), viene cambiato anche l'intervallo di misura, in modo che il tempo T di misura corrisponde di nuovo al periodo del disturbo (T= 400 ms nell'esempio).

Inoltre, deve essere regolato il campo delle ampiezze A_B, A_{RC} e A_{RLC}. Nell'esempio, I rapporti delle ampiezze sono definiti solo se l'ampiezza del FFT nel denominatore è minore del 1,5 % dell'ampiezza A d'ingresso.

Il tempo di calcolo dei modelli è limitato a 5 s. Se questo non è sufficiente nel caso di computers lenti, la conseguente analisi di Fourier viene calcolata solo per la soluzione incompleta. In questo caso, occorre incrementare il tempo Massimo di calcolo dei modelli.

Filtro passa alto (con modellizzazione)



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Nel primo esperimento, si applicano impulsi rettangolari con ampiezza costante a un filtro passa basso del primo ordine ① composto da una resistenza ed un condensatore (RC) o a un filtro passa basso del secondo ordine ② composto da una resistenza, una bobina e un condensatore (RLC). Viene studiata la risposta del filtro a questi impulsi (risposta al gradino) e confrontata con un modello.

Nel secondo esperimento, si applica ad un filtro passa basso un segnale di ingresso di frequenza variabile (disturbo). Si applica sia al segnale d'ingresso che al segnale di uscita misurato una trasformata di Fourier, ed i due spettri delle frequenze sono divisi l'uno dall'altro. La variazione di ampiezza dipendente dalla frequenza (risposta in ampiezza) ottenuta con questa procedura viene visualizzata e confrontata con un modello.

Le equazioni dei modelli del primo ordine (RC) e del secondo ordine (RLC) seguono dalla conservazione dell'energia. La potenza $U(t)\cdot I(t)$ fornita da una sorgente esterna deve essere uguale alla somma della potenza del condensatore $d(1/2\cdot C\cdot U_C(t)^2)/dt$, della potenza della bobina $d(1/2\cdot L\cdot I(t)^2)/dt$ e della potenza della resistenza $R\cdot I(t)^2$, cioè.

$$U(t)\cdot I(t) = U(t)\cdot Q'(t) = d(1/2\cdot Q(t)^2/C)/dt + d(1/2\cdot L\cdot I(t)^2)/dt + R\cdot I(t)^2 = Q(t)/C\cdot Q'(t) + L\cdot Q'(t)\cdot Q''(t) + R\cdot Q'(t)^2.$$

Per un passa alto del primo ordine (L = 0) questo dà

$$Q_{RC}'(t) = -Q_{RC}(t)/RC+U(t)/R$$

E per un passa alto del secondo ordine (L > 0)

$$Q_{RLC}''(t) = I_{RLC}'(t) = U(t)/L-Q_{RLC}(t)/LC-R\cdot Q_{RLC}'(t)/L$$

Le costanti R, L e C corrispondono alla resistenza, alla bobina ed al condensatore usati. In funzione dell'ordine, la tensione di uscita del filtro è rispettivamente $U_{RC}(t)=U(t)-R\cdot I(t)$ o $U_{RLC}(t)=U(t)-R\cdot I(t)-Q_{RLC}(t)/C$.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	Power-CASSY	524 011
1	CASSY Lab	524 200

1	Pannello a spina DIN A4	576 74
1	Resistenza STE 20 Ω	577 23
1	Resistenza STE 47 Ω	577 28
1	Resistenza STE 100 Ω	577 32
1	Bobina STE, 500 turn	590 83
1	Condensatore STE 4,7 µF, 5 %	578 16
2	Coppie di cavi, 50 cm, rosso e blu	501 45
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

si raccomanda:

1	Altoparlante per alta frequenza	587 07
1	Zoccolo	300 11
1	Nucleo in ferro, laminato	da 593 21
1	Coppia di cavi, 50 cm, rosso e blu	501 45

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Collegare il filtro passa alto del primo e del secondo ordine al Power-CASSY e al Sensor-CASSY come mostrato nel disegno. Per incrementare l'induttanza L della bobina, si può usare un nucleo di ferro laminato. Si raccomanda di collegare l'altoparlante all'uscita del Power-CASSY per una migliore comprensione della misura della risposta in ampiezza.

Esecuzione dell'esperimento

a) Risposta al gradino

- Carica settaggi
- Realizzare il filtro RC (primo ordine) o RLC (secondo ordine).
- Avviare la misura con **F9**.
- Ripetere la misura con un'altra frequenza f (spostare l'indice nel display dello strumento di misura) o con un altro ordine se necessario.

b) Risposta in ampiezza

- Carica settaggi
- Realizzare il filtro RC (primo ordine) o RLC (secondo ordine).
- Avviare la misura con **F9**.
- Ripetere la misura con un altro ordine se necessario.

Modellizzazione

Le costanti R (resistenza), C (capacità) e L (induttanza) possono essere variate possono trascinando l'indice nel display del corrispondente strumento (o ciccando a sinistra o a destra dell'indice) fino a che il modello concorda con la misura. La resistenza ohmica della bobina (circa. 4 Ω) deve essere presa in considerazione quando viene determinata la resistenza R di attenuazione.

a) Risposta al gradino

Le visualizzazioni del **Modello RC** e del **Modello RLC** (selezionare con il mouse) mostrano il confronto della risposta del filtro con il corrispondente modello. La frequenza di eccitazione è continua dal Power-CASSY. Quindi il processo di oscillazione transitoria del filtro non è visibile nel segnale misurato. Per il calcolo all'avvio deve essere scelto un periodo prima dello zero, cioè, t_0=–1/f, affinchè il processo di oscillazione transitoria sia invisibile anche nel modello.

In aggiunta le visualizzazioni dello **Spettro in frequenza RC** e **Spettro in frequenza RLC** permettono di confrontare l'attenuazione del segnale d'ingresso in funzione della frequenza e dell'ordine del filtro. Questo confronto è possibile anche dalla misura diretta della risposta in ampiezza.

b) Risposta in ampiezza

Il Power-CASSY eccita il filtro ad una frequenza variabile (disturbo). In questo disturbo la frequenza diminuisce molto velocemente da circa 2500 Hz a 0 Hz. Nella **Risposta in ampiezza**, viene visualizzato il rapporto delle ampiezze del segnale di uscita e del segnale d'ingresso del filtro. La curva nera è la curva misurata, la curva rossa è il risultato del modello del primo ordine, e la curva blu mostra il modello del secondo ordine.

Durante la misura, il filtro non deve sovraccaricare il Sensor-CASSY (vedere visualizzazione **Standard**). Se necessario, ripetere la misura con un diminuzione dell'ampiezza A o un aumento della resistenza R.

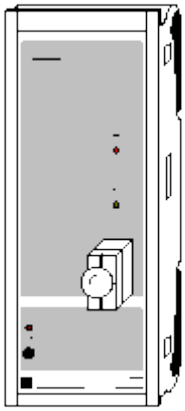
Nota relativa alla misura della risposta in ampiezza

Quando viene cambiata la frequenza f base del disturbo (f = 2,5 Hz nell'esempio), viene cambiato anche l'intervallo di misura, in modo che il tempo T di misura corrisponde di nuovo al periodo del disturbo (T= 400 ms nell'esempio).

Inoltre, deve essere regolato il campo delle ampiezze A_B, A_{RC} e A_{RLC}. Nell'esempio, I rapporti delle ampiezze sono definiti solo se l'ampiezza del FFT nel denominatore è minore del 1,5 % dell'ampiezza A d'ingresso.

Il tempo di calcolo dei modelli è limitato a 5 s. Se questo non è sufficiente nel caso di computers lenti, la conseguente analisi di Fourier viene calcolata solo per la soluzione incompleta. In questo caso, occorre incrementare il tempo Massimo di calcolo dei modelli.

Caratteristica di una lampada ad incandescenza



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

In una lampada ad incandescenza, la tensione non è proporzionale alla corrente perché la sua resistenza dipende molto dalla temperatura. Infatti, una lampada ad incandescenza percorsa dalla corrente elettrica si riscalda e la variazione di temperatura provoca una variazione di resistenza che modifica l'andamento della curva caratteristica. Tale andamento dipende anche dalla rapidità dU/dt con cui aumenta la tensione applicata.

Elenco delle apparecchiature

1	Power-CASSY	524 011
1	CASSY Lab	524 200
1	Serie di 10 lampade 12 V /3 W	505 08
1	Portalampada STE, E 10, verticale	579 06
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Collegare la lampada direttamente a Power-CASSY.

Esecuzione dell'esperimento

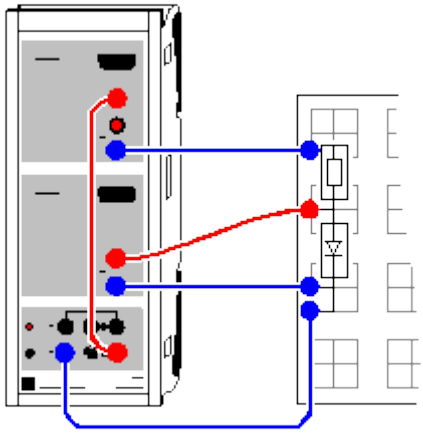
Carica settaggi

- Eseguire la misura con **F9** (la lampada si accende e si spegne)
- Variare la frequenza f di accensione e spegnimento della lampada attraverso Settaggi U1 e misurare gli intervalli di tempo in Parametri di Misura; ripetere l'esperimento.

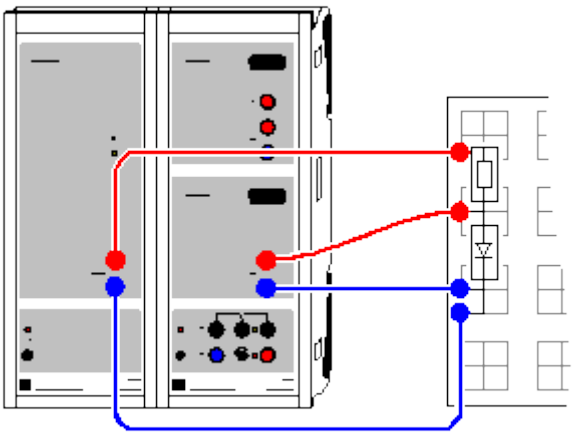
Valutazione dei risultati

Interpolando la caratteristica con l'andamento lineare, si può determinare la resistenza della lampada ad incandescenza a temperatura ambiente ed a temperatura elevata.

Caratteristica di un diodo



Alternativamente (con Power-CASSY):



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Tra tutti i dispositivi a semiconduttore, il diodo è il componente più semplice. Esso consiste in un cristallo di materiale semiconduttore in cui una zona è caratterizzata da una conducibilità di tipo n ed un'altra zona, adiacente alla prima, ha una conducibilità di tipo p. A causa della ricombinazione delle cariche mobili, cioè degli elettroni della zona n e dei buchi della zona p, nella giunzione si crea una zona a bassa conducibilità chiamata zona di svuotamento. Se un campo elettrico esterno allontana i buchi e gli elettroni dalla zona di svuotamento, la conducibilità diminuisce. In questo caso, nella giunzione è presente un campo elettrico inverso. Orientando direttamente il campo elettrico, gli elettroni e i buchi sono iniettati nella zona di svuotamento e nel diodo si ha circolazione di corrente.

In questo esperimento si registrano e si confrontano fra loro le caratteristiche corrente-tensione di diversi tipi di diodi (diodi al Si, al Ge e diodi ad emissione di luce).

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Pannello a spina DIN A4	576 74
1	Resistenza STE, 100 Ω	577 32
1	Diodo STE al Si 1N4007	578 51
1	Diodo STE al Ge AA118	578 50
1	Diodo STE ad emissione di luce verde	578 57
1	Diodo STE ad emissione di luce gialla	578 47
1	Diodo STE ad emissione di luce rossa	578 48
1	Diodo STE a raggi infrarossi	578 49

1	Cavo di collegamento, 50 cm, blu	500 422
2	Coppie di cavi, 50 cm, rossi e blu	501 45
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Alternativamente (con Power-CASSY)

1	Sensor-CASSY	524 010
1	Power-CASSY	524 011
1	CASSY Lab	524 200
1	Pannello a spina DIN A4	576 74
1	Resistenza STE, 100 Ω	577 32
1	Diodo STE al Si 1N4007	578 51
1	Diodo STE al Ge AA118	578 50
1	Diodo STE ad emissione di luce verde	578 57
1	Diodo STE ad emissione di luce gialla	578 47
1	Diodo STE ad emissione di luce rossa	578 48
1	Diodo STE a raggi infrarossi	578 49
2	Coppie di cavi, 50 cm, rossi e blu	501 45
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Collegare il circuito a Sensor-CASSY attraverso gli ingressi A (corrente) e B (tensione ai capi del diodo) come indicato in figura. Il diodo è protetto da una resistenza di 100 Ω collegata in serie.

Quando si usa Power-CASSY, bisogna metterlo a sinistra di Sensor-CASSY in modo da alimentare il circuito e misurare la corrente.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Invertire le polarità del generatore di tensione S (per la caratteristica inversa) e portare U_{B1} fino a circa –3 V.
- Avviare la misura con **F9**.
- Diminuire lentamente la tensione fino a zero (ruotare verso sinistra; si ha la registrazione della caratteristica inversa).
- Riportare le polarità del generatore di tensione S nelle condizioni iniziali (per la caratteristica diretta).
- Aumentare lentamente la tensione (si ha la registrazione della caratteristica diretta); per sicurezza non superare la corrente massima del diodo LED.
- Arrestare la misura con **F9**.
- Ripetere la misura con diodi diversi; invertire le polarità del generatore di tensione S ed avviare la misura con **F9**.

Alternativamente (con Power-CASSY)

- Carica settaggi
- Registrare la caratteristica di ciascun diodo con **F9** (Power-CASSY si sposta automaticamente nell'intervallo di variazione della tensione).

Valutazione dei risultati

Con tensioni negative, la corrente risulta trascurabile (polarizzazione inversa). Con tensioni positive, appena U supera la tensione di soglia, si ha un brusco aumento di corrente (caratteristica diretta).

Si possono confrontare le tensioni di soglia U dei diversi tipi di diodi. Nel caso dei diodi LED, con questa relazione

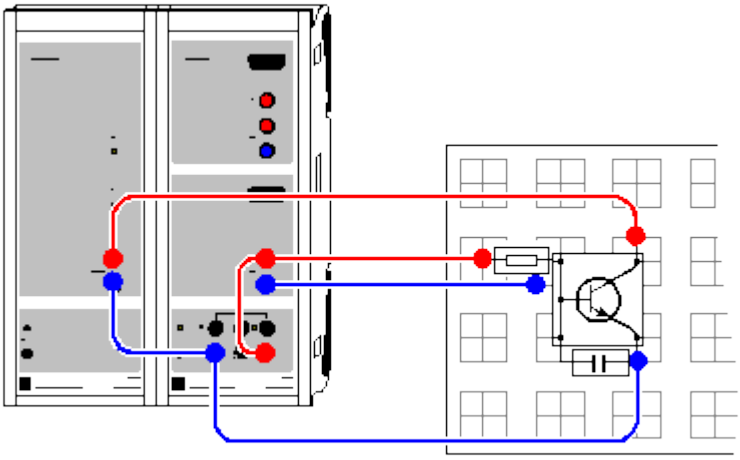
$e \cdot U = h \cdot c/\lambda$

si può ricavare approssimativamente la lunghezza d'onda λ della radiazione emessa. In questo esperimento, per il diodo LED ad emissione di luce rossa si è trovata una tensione di soglia U circa uguale ad 1,4 V. Quindi si ottiene $\lambda = hc/eU = 880$ nm.

Nota

Non è possibile determinare con precisione la lunghezza d'onda della radiazione emessa dai diodi LED; infatti, la loro emissione occupa un ampio intervallo di frequenza che di solito viene alterato dal colore del contenitore. Tuttavia, il valore di lunghezza ricavato in precedenza è sufficientemente approssimato.

Caratteristica di un transistor



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

I transistor sono i componenti a semiconduttore più usati nei circuiti elettronici. Gli elettrodi dei transistor bipolari sono l'emettitore, la base ed il collettore. I transistor sono formati da tre strati con conducibilità di tipo n e di tipo p, disposti secondo l'ordine npn o pnp.

In questo esperimento si determina l'andamento delle due caratteristiche d'uscita, cioè la corrente di collettore I_C in funzione della corrente di base I_B (con tensione collettore-emettitore costante) e la corrente di collettore I_C in funzione della tensione collettore-emettitore U_{CE} (con diversi valori costanti della corrente di base I_B).

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	Power-CASSY	524 011
1	CASSY Lab	524 200
1	Pannello a spina DIN A4	576 74
1	Transistor STE, BD 137	578 67
1	Resistenza STE, 10 kΩ, 0,5 W	577 56
1	Condensatore STE, 0,1 µF	578 31
1	Coppia di cavi, 25 cm, rosso e blu	501 44
2	Coppie di cavi, 50 cm, rossi e blu	501 45
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Power-CASSY fornisce la tensione collettore-emettitore U_{CE} e contemporaneamente misura la corrente di collettore I_C. Sensor-CASSY (montato direttamente sulla destra di Power-CASSY) fornisce la corrente di base I_B e contemporaneamente misura la tensione ai capi di una resistenza di 10 kΩ. Il piccolo condensatore di 0,1 µF collegato tra base ed emettitore elimina i disturbi durante la misura.

Per l'esperimento, si fornisce una corrente di base massima di circa 1 mA ed una corrente di collettore massima di circa 100 mA. Fare attenzione ad utilizzare transistor compatibili con questi valori (per es. BD 137).

Esecuzione dell'esperimento

a) Caratteristica di controllo della corrente di collettore I_C in funzione della corrente di base I_B.

Carica settaggi

- Power-CASSY fornisce una tensione collettore-emettitore U_{CE} = 2 V costante e contemporaneamente misura la corrente di collettore I_C.
- Tramite il generatore di tensione S di Sensor-CASSY annullare la corrente di base I_B.
- Avviare la misura con **F9**.

- Registrare la caratteristica aumentando lentamente la corrente di base.
- Terminare la misura con **F9**.

b) Caratteristica della corrente di collettore I_C in funzione della tensione collettore-emettitore U_{CE}.

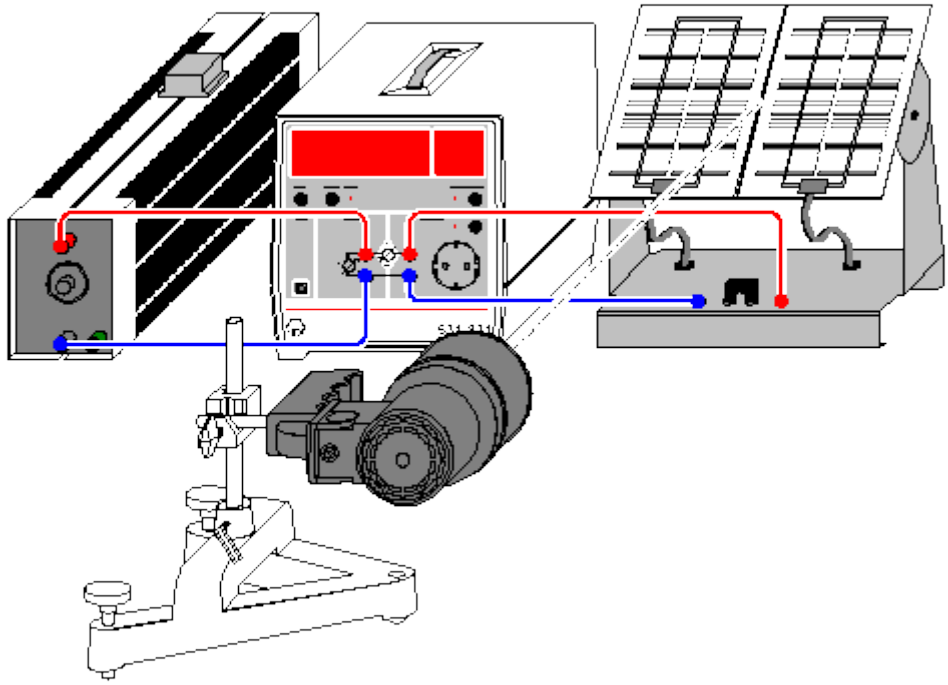
- Carica settaggi
- Durante la misura, Power-CASSY aumenta la tensione collettore-emettitore fino a U_{CE} = 2 V e misura la corrente di collettore I_C.
- Tramite il generatore di tensione S di Sensor-CASSY fornire una corrente di base I_B = 0,1 mA.
- Avviare la misura con **F9** (automaticamente si ottiene la registrazione della caratteristica).
- Aumentare la corrente di base I_B ad intervalli di 0,1 mA e registrare di volta in volta la nuova caratteristica con **F9**.

Valutazione dei risultati

Interpolando la caratteristica di controllo a) con andamento lineare, si determina facilmente il guadagno di corrente. Nell'esempio, si ottiene un guadagno di corrente I_C/I_B = 149,6.

La caratteristica b) mostra in modo più evidente il guadagno di corrente del transistor. A partire da una tensione collettore-emettitore U_{CE} relativamente piccola, la corrente di uscita I_C rimane praticamente costante, il suo valore dipende solo dalla corrente di base I_B.

Potenza caratteristica di una cella solare



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

La potenza P di una cella solare viene registrata per vari illuminamenti in funzione della resistenza di un carico R_1. Dalle forme delle curve, sono determinate le resistenze di carico ottimale R_{max} in cui si raggiunge in ogni caso la potenza massima della cella solare.

Inoltre, per ogni illuminamento (differenti angoli di inclinazione α della cella solare), vengono misurate la tensione a circuito aperto e la corrente di corto circuito e vengono calcolate le resistenze interne R_0 della cella solare: $R_0=U_0/I_0$. Le resistenze interne R_0 sono confrontate con R_{max}.

Elenco delle apparecchiature

1	Joule- e watt-metro	531 831
1	Cella solare	664 431
1	Lampada per foto, 1000 W	450 70
1	Reostato	537 34
1	Metro a rotella	311 77
1	Base di sostegno, a V, 28 cm	300 01
1	Asta di sostegno, 100 mm	300 40
1	Morsetto Leybold	301 01
2	Coppia di cavi, 100 cm	501 46
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Posizionare la lampada per foto ad una distanza di circa 40 cm dalla cella solare. Prima posizionare la cella solare perpendicolarmente alla luce incidente e collegarla alle boccole da 4 mm del pannello OUTPUT. Collegare il resistore di carico alle boccole da 4 mm del pannello INPUT.

Nota

La potenza della cella solare varia anche con la temperatura. Accertarsi che la temperatura rimanga essenzialmente costante durante la misura, la cella solare dovrebbe essere illuminata dalla sorgente già da 15 min prima di registrare i valori misurati.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

a) Registrazione della caratteristica

- Regolare il reostato in modo che sul display dello strumento Resistenza di carico R_1 sia visualizzata una resistenza di 2 Ω.
- Prendere il valore misurato nella tabella manualmente con **F9**.
- Aumentare la resistenza di carico in passi di 2 Ω, e registrare altri valori misurati.
- Per variare l'illuminamento, inclinare la cella solare di un angolo di 45° o 30°, rispettivamente, rispetto alla luce incidente. Ripetere l'esperimento per ogni angolo.
- Per ogni illuminamento, determinare la resistenza di carico R_{max} a cui si raggiunge la massima potenza della cella solare.

b) Misura della tensione a circuito aperto e della corrente di corto circuito

- Aprire i display degli strumenti U, I, U_0, I_0 e R_0 cliccando su .
- Collegare la cella solare alle boccole da 4 mm del joule- e watt-metro contrassegnate con U.
- Usando il mouse, portare il valore misurato dal display dello strumento U al display dello strumento Tensione a circuito aperto U_0 (trascina & incolla).
- Collegare la cella solare alle boccole del joule- e watt-metro contrassegnate con I.
- Usando il mouse, portare il valore misurato del display dello strumento i al display dello strumento della Corrente di corto circuito I_0 (trascina & incolla). Leggere la resistenza interna R_0 della cella solare.

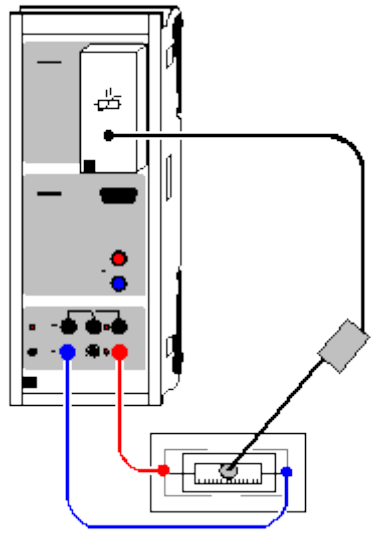
Valutazione

La potenza fornita da una cella solare dipende dalla resistenza di carico e dall'illuminamento.

La potenza massima della cella solare si raggiunge se la resistenza di carico è circa uguale alla resistenza interna della cella solare.

La potenza massima della cella solare è tanto più grande quanto maggiore è l'illuminamento (a temperature costante)

Controllo di temperatura



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Il controllo della temperatura è una interessante applicazione che permette di dimostrare il funzionamento di un regolatore a due posizioni e di un regolatore PI. A causa dell'elevata inerzia termica di tutto il sistema, si può disporre di un tempo sufficientemente lungo per osservare l'esatta evoluzione dell'algoritmo di controllo.

Nel caso del regolatore a due posizioni, il riscaldatore resta in funzione se la temperatura è inferiore al valore di soglia ϑ_1; il riscaldatore viene disattivato se la temperatura supera il livello di soglia ϑ_2.

Come alternativa alla soluzione precedente, c'è la possibilità di eseguire il controllo di temperatura con un regolatore PI. Per determinare la grandezza di errore w – x del sistema, il regolatore PI utilizza la grandezza di riferimento w (valore di temperatura prestabilito) e la grandezza misurata x = ϑ_{A1} (valore effettivo della temperatura).

Il regolatore PI fornisce la grandezza di controllo $y = y_0 + K_P*(w-x) + K_I*\int(w-x)*dt$ la quale tiene conto anche del valore nominale y_0. Il coefficiente ad azione proporzionale K_P ed il coefficiente ad azione integrativa K_I e tutti gli altri parametri di controllo si possono ottimizzare in modo tale che, dopo una deviazione del sistema dalle condizioni funzionamento nominali (dovuta, per esempio, ad una variazione della grandezza di riferimento w), il sistema si porti in una condizione di funzionamento tale da rendere la grandezza d'errore w – x il più possibile prossima allo 0. In questo caso, si suppone che la grandezza nominale y_0 rimanga costante.

Se si utilizza soltanto un regolatore P ($K_I = 0$), il sistema presenta un errore residuo che si annulla solo quando si inserisce la componente I.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	KTY-box	524 036
1	Sensore KTY	529 036
1	Segmento di pannello a spina	576 71
1	Elemento riscaldante, 100 Ω, 2 W	579 38
1	Coppia di cavi, 1 m, rosso e blu	501 46
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Il generatore di tensione S alimenta l'elemento riscaldante. La temperatura raggiunta si misura utilizzando un sensore KTY con il KTY-box collegato all'ingresso A della CASSY. Per questa prova, bagnare l'elemento riscaldante con alcune gocce d'acqua ed immergere in acqua il sensore KTY.

Esecuzione dell'esperimento

a) Regolatore a due posizioni

- Carica settaggi
- Ruotare verso destra il potenziometro del generatore di tensione S e portarlo a fine corsa.
- Stabilire le due diverse soglie di commutazione ϑ_1 e ϑ_2 spostando l'indice dello strumento con il mouse o cambiando il valore di questi parametri in Settaggi ϑ1 o ϑ2 (pulsante destro del mouse).
- Con **F9**, è possibile avviare e bloccare la registrazione dell'andamento della temperatura durante il controllo.

b) Regolatore PI

- Carica settaggi
- Ruotare verso destra il potenziometro del generatore di tensione S e portarlo a fine corsa.
- Spostando l'indice dello strumento con il mouse o cambiando il valore della grandezza di riferimento in Settaggi w (pulsante destro del mouse), assegnare la grandezza di riferimento w in modo che ad essa corrisponda un valore di temperatura circa 5 °C maggiore della temperatura ambiente ϑ_{A1}.
- Stabilire i valori dei coefficienti ad azione proporzionale (K_P) e ad azione integrativa (K_I) in Settaggi KP o KI (pulsante destro del mouse).
- Avviare (ed arrestare) il controllo della temperatura con **F9**.

Valutazione dei risultati

Nel caso del regolatore a due posizioni, si possono evidenziare le soglie di commutazione ϑ_1 e ϑ_2 con due linee orizzontali.

Il comportamento del regolatore PI dipende in modo determinante dalla scelta del coefficiente ad azione proporzionale K_P e di quello ad azione integrativa K_I. La linea nera rappresenta la grandezza di riferimento w (valore prestabilito). La curva rossa rappresenta la grandezza controllata x (grandezza misurata) la quale tende a raggiungere la curva nera ed a ridurre rapidamente la grandezza d'errore. La curva blu rappresenta la grandezza di controllo y, cioè la tensione ai capi del riscaldatore.

Procedimento empirico di ottimizzazione del regolatore di temperatura PI

Il sistema di controllo della temperatura è molto lento, per cui gli effetti introdotti dalle variazioni dei parametri K_P e K_I si manifestano con molto ritardo. Per guadagnare tempo, si può ricorre ad un metodo di ottimizzazione empirico.

- Portare K_I a 0 ed aumentare K_P poco alla volta (per esempio, con incrementi di 1) fino a quando l'anello di controllo comincia ad oscillare.
- Diminuire K_P in modo da interrompere l'oscillazione. Il sistema presenta un errore residuo.
- Aumentare lentamente K_I (per esempio, con incrementi di K_P/200) fino a quando il sistema comincia di nuovo ad oscillare.
- Diminuire K_I in modo da interrompere l'oscillazione. Diminuendo K_I, diminuisce la prontezza del regolatore.

In questo esempio si è trovato K_P = 5 e K_I = 0,05 /s.

Variazione automatica della grandezza di riferimento

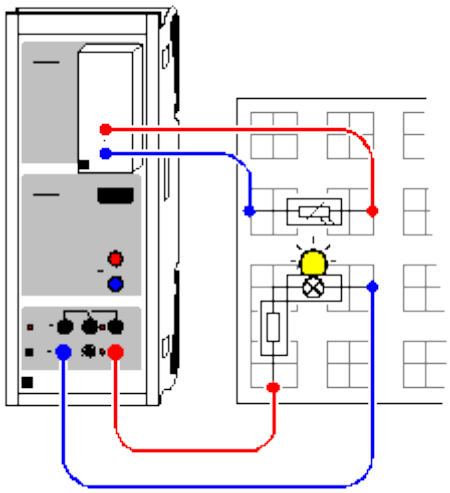
Oltre che manualmente, la grandezza di riferimento w (valore prestabilito) si può far variare anche automaticamente. In questo caso, ad esempio, si può inserire la formula **30+sin(360*t/1000)** in Settaggi w; questo controllo consiste nel far variare la temperatura tra 29 °C e 31 °C con legge sinusoidale in un periodo di 1000 s.

Impiego del box temperatura (524 045)

Al posto del KTY-box, si può utilizzare il box temperatura (524 045) con sensore NiCr-Ni o NTC. In questo caso, prima di tutto bisogna cancellare la temperatura in Settaggi ϑA1; quindi, si entra in Settaggi CASSY (**F5**) si clicca sul box temperatura inserito nell'ingresso A, si attiva **Valori Medi** e **Zero a**

Sinistra. Infine, in Settaggi w si assegna un intervallo di temperatura compreso tra 0 °C e 120 °C ed in Settaggi w – x si modifica la formula in **(w-&JA11)/50**.

Controllo di luminosità



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

In questo esperimento si esegue il controllo della luminosità di una lampada ad incandescenza mediante una serie di resistenze addizionali di valore diverso. Per il controllo si utilizza un regolatore PI. Per determinare la grandezza di errore w – x del sistema, il regolatore PI utilizza la grandezza di riferimento w (valore prestabilito della fotoresistenza LDR) e la grandezza misurata x = R_{A1} (valore effettivo della fotoresistenza LDR).

Il regolatore PI fornisce la grandezza di controllo $y = y_0 + K_P*(w-x) + K_I*\int(w-x)*dt$ la quale tiene conto anche del valore nominale y_0. Il coefficiente ad azione proporzionale K_P ed il coefficiente ad azione integrativa K_I e tutti gli altri parametri di controllo si possono ottimizzare in modo tale che, dopo una deviazione del sistema dalle condizioni funzionamento nominali (per esempio, l'inserimento di una resistenza addizionale, una variazione della grandezza di riferimento w o del valore nominale y_0), il sistema si porti in una condizione di funzionamento tale da rendere la grandezza d'errore w – x il più possibile prossima allo 0.

Se si utilizza soltanto un regolatore P ($K_I = 0$), il sistema presenta un errore residuo che si annulla solo quando si inserisce la componente I.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box generatore di corrente	524 031
1	Pannello a spina DIN A4	576 74
1	Portalampada E10, laterale	579 05
1	Serie di 10 lampade 3,8 V/0,07 A	505 10
1	Interruttore a levetta, unipolare	579 13
1	Fotoresistenza LDR 05	578 02
1	Resistenza STE 10 Ω, 2 W	577 20
1	Resistenza STE 20 Ω, 2 W	577 23
1	Resistenza STE 47 Ω, 2 W	577 28
1	Resistenza STE 100 Ω, 2 W	577 32
2	Coppia di cavi, 1 m, rosso e blu	501 46
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Il generatore di tensione S alimenta la lampada attraverso una resistenza di protezione di 100 Ω. La luminosità della lampada viene misurata mediante una resistenza fotosensibile con il box generatore di corrente collegato all'ingresso A della CASSY.

Per generare i disturbi, è sufficiente inserire o escludere una serie di resistenze addizionali mediante l'interruttore a levetta. Chiudendo l'interruttore si cortocircuita la resistenza, mentre ad interruttore aperto la resistenza resta inserita nel circuito.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Ruotare verso destra il potenziometro del generatore di tensione S e portarlo a fine corsa.
- La lampada si accende assumendo un valore nominale y_0 di 0,5. Questo significa che il segnale d'uscita del generatore S ha un duty factor del 50%.
- Modificare il valore nominale y_0 assegnando il valore desiderato in Settaggi y0 (pulsante destro del mouse).
- Inserire il valore di resistenza ottenuto dalla misura come grandezza di riferimento w spostando l'indice dello strumento con il mouse oppure modificando il valore del parametro in Settaggi w (pulsante destro del mouse).
- Avviare e arrestare la misura nell'istante appropriato con **F9**.
- Durante il controllo, è possibile introdurre un disturbo inserendo o escludendo una serie di resistenze oppure variando la grandezza di riferimento w o il valore nominale y_0.
- È possibile ottimizzare il regolatore variando il coefficiente ad azione proporzionale (K_P) ed il coefficiente ad azione integrativa (K_I) in Settaggi KP o KI (pulsante destro del mouse).

Valutazione dei risultati

L'andamento dei diagrammi ottenuti dalla registrazione illustrano il comportamento del regolatore. La linea nera rappresenta la grandezza di riferimento w (valore prestabilito). La curva rossa rappresenta la grandezza controllata x (grandezza misurata) la quale tende a raggiungere la curva nera ed a ridurre rapidamente la grandezza d'errore. La curva blu rappresenta la grandezza di controllo y, cioè la tensione ai capi della lampada.

Procedimento empirico di ottimizzazione del regolatore di temperatura PI

Se il valore della resistenza misurata con il box sensore diminuisce all'aumentare della tensione del generatore S, assegnare valori negativi a K_P e K_I.

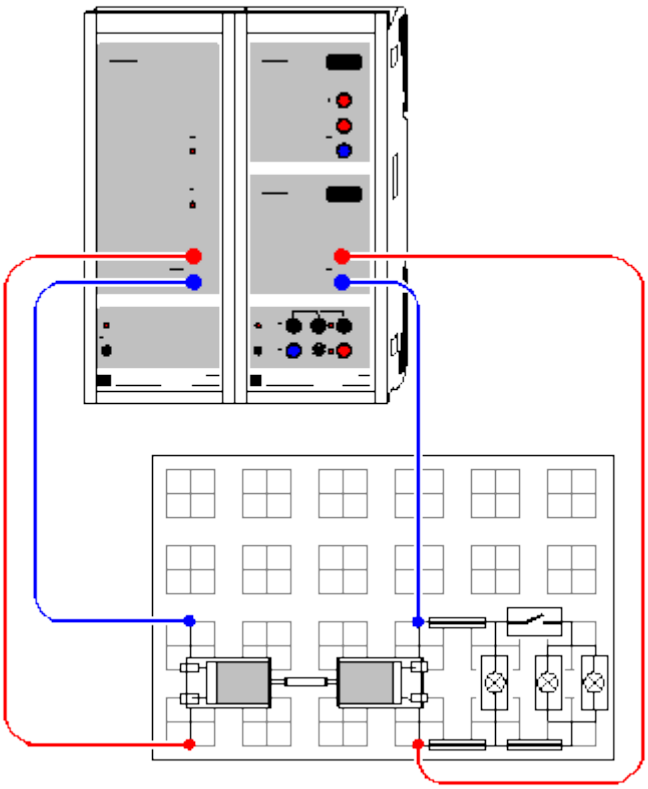
- Portare K_I a 0 ed aumentare K_P poco alla volta (per esempio, con incrementi di –0,1) fino a quando l'anello di controllo comincia ad oscillare.
- Diminuire K_P in modo da interrompere l'oscillazione. Il sistema presenta un errore residuo.
- Aumentare lentamente K_I (per esempio, con incrementi di $10*K_P$) fino a quando il sistema comincia di nuovo ad oscillare.
- Diminuire K_I in modo da interrompere l'oscillazione. Diminuendo K_I, diminuisce la prontezza del regolatore.

In questo esempio si è trovato $K_P = 0,5$ e $K_I = 5$ /s.

Variazione automatica della grandezza di riferimento

Oltre che manualmente, la grandezza di riferimento w (valore prestabilito) si può far variare anche automaticamente. In questo caso, ad esempio, si può inserire la formula **1+0,5*sin(360*t/20)** in Settaggi w; questo controllo consiste nel far variare la resistenza della LDR tra 0,5 kΩ ed 1,5 kΩ con legge sinusoidale in un periodo di 20 s.

Controllo di tensione



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

L'esperimento consiste nella realizzazione di un sistema di controllo della tensione d'uscita di un generatore in presenza di un carico variabile. Per il controllo si utilizza un regolatore PI. Per determinare la grandezza di errore w – x del sistema, il regolatore PI utilizza la grandezza di riferimento w (valore prestabilito per la tensione del generatore) e la grandezza misurata x = U_{B2} (valore effettivo della tensione all'uscita del generatore)..

Il regolatore PI fornisce la grandezza di controllo $y = y_0 + K_P*(w-x) + K_I*\int(w-x)*dt$ la quale tiene conto anche del valore nominale y_0. Il coefficiente ad azione proporzionale K_P ed il coefficiente ad azione integrativa K_I e tutti gli altri parametri di controllo si possono ottimizzare in modo tale che, dopo una deviazione del sistema dalle condizioni funzionamento nominali (per esempio, una variazione della resistenza di carico, una variazione della grandezza di riferimento w o del valore nominale y_0), il sistema si porti in una condizione di funzionamento tale da rendere la grandezza d'errore w – x il più possibile prossima allo 0.

Se si utilizza soltanto un regolatore P ($K_I = 0$), il sistema presenta un errore residuo che si annulla solo quando si inserisce la componente I.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	Power-CASSY	524 011
1	CASSY Lab	524 200
1	Pannello a spina DIN A4	576 74
2	Motori DC e generatori	579 43
1	Interruttore a levetta, unipolare	579 13
3	Portalampada E10, top	579 06
1	Serie di 10 lampade 3,8 V/0,07 A	505 10
1	Tubo di plastica, 6 mm	307 641
1	Serie di ponticelli a spina	501 48

2 Coppia di cavi, 1 m, rosso e blu 501 46
1 PC con Windows 98/2000/XP/Vista

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Power-CASSY alimenta il motore (sinistra) il quale comanda il generatore (destra) attraverso un tubo di plastica lungo circa 25 mm. La tensione del generatore viene misurata tramite l'ingresso B di Sensor-CASSY. Verificare che i collegamenti del motore e del generatore abbiano verso contrario, poiché motore e generatore sono collegati in opposizione.

Il carico variabile del generatore è costituito da tre lampade ad incandescenza, due delle quali si possono inserire o disinserire con un interruttore.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Mettere in rotazione il motore applicando una y_0 nominale di 6 V.
- Modificare la y_0 nominale assegnando il valore desiderato in Settaggi y0 (pulsante destro del mouse).
- Misurare la tensione U_{B2} e verificare se è positiva (in caso contrario, invertire le polarità).
- Inserire il valore di tensione ottenuto dalla misura come grandezza di riferimento w spostando l'indice dello strumento con il mouse oppure modificando il valore del parametro in Settaggi w (pulsante destro del mouse).
- Avviare e arrestare la misura nell'istante appropriato con **F9**.
- Durante il controllo, è possibile introdurre un disturbo variando il carico del generatore o la grandezza di riferimento w.
- È possibile ottimizzare il regolatore variando il coefficiente ad azione proporzionale (K_P) ed il coefficiente ad azione integrativa (K_I) in Settaggi KP o KI (pulsante destro del mouse).

Valutazione dei risultati

L'andamento dei diagrammi ottenuti dalla registrazione illustrano il comportamento del regolatore. La linea nera rappresenta la grandezza di riferimento w (valore prestabilito). La curva rossa rappresenta la grandezza controllata x (grandezza misurata) la quale tende a raggiungere la curva nera ed a ridurre rapidamente la grandezza d'errore. La curva blu rappresenta la grandezza di controllo y, cioè la tensione applicata al motore.

Procedimento empirico di ottimizzazione del regolatore di temperatura PI

- Portare K_I a 0 ed aumentare K_P poco alla volta (per esempio, con incrementi di 0,1) fino a quando l'anello di controllo comincia ad oscillare.
- Diminuire K_P in modo da interrompere l'oscillazione. Il sistema presenta un errore residuo.
- Aumentare lentamente K_I (per esempio, con incrementi di $10*K_P$) fino a quando il sistema comincia di nuovo ad oscillare.
- Diminuire K_I in modo da interrompere l'oscillazione. Diminuendo K_I, diminuisce la prontezza del regolatore.

In questo esempio si è trovato $K_P = 0{,}5$ e $K_I = 4$ /s.

Variazione automatica della grandezza di riferimento

Oltre che manualmente, la grandezza di riferimento w (valore prestabilito) si può far variare anche automaticamente. In questo caso, ad esempio, si può inserire la formula **4+sin(360*t/20)** in Settaggi w; questo controllo consiste nel far variare la tensione con legge sinusoidale tra 3 V e 5 V con un periodo di 20 s.

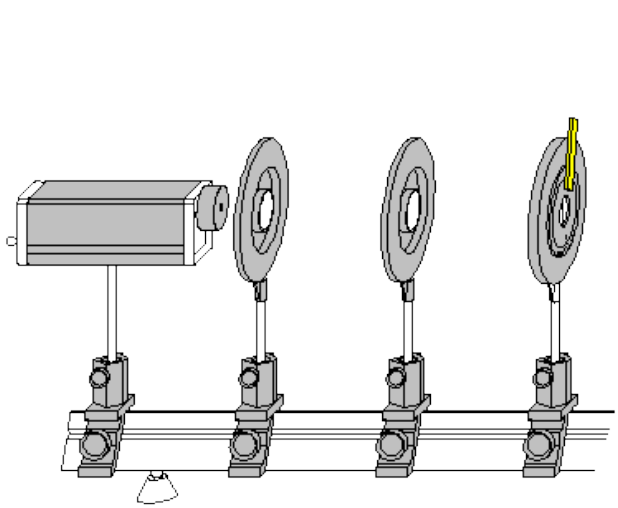
Altri anelli di controllo

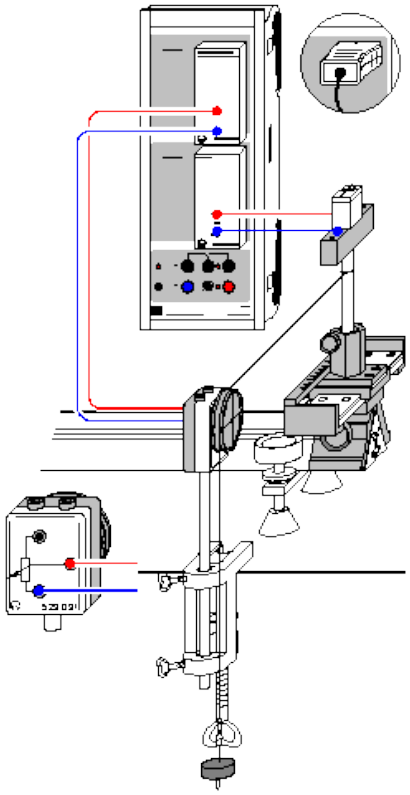
L'esempio descritto si può adattare ad altri sistemi di controllo. Purché la grandezza controllata sia una tensione, è sufficiente modificare l'intervallo dell'azione di controllo, il campo di misura ed i parametri K_P e K_I del regolatore.

Se la grandezza controllata viene fornita da un box sensore, per prima cosa bisogna cancellare il canale U_{B2} selezionando **Cancella** in Settaggi UB2 in modo da consentire il riconoscimento del box sensore inserito nell'ingresso B di Sensor-CASSY. Successivamente, in Settaggi CASSY (**F5**), bisogna attivare il box sensore con il mouse e selezionare di nuovo **Valore Medio**. È necessario, però, modifi-

care l'unità di misura ed il simbolo della grandezza di riferimento w e della grandezza d'errore del sistema w – x; inoltre, bisogna modificare la formula usata per il calcolo di tale errore (per esempio, **w–RB2** al posto di **w–UB2**). Come avviene per tutti gli esperimenti nei quali si utilizza la CASSY, anche in questo caso, si possono modificare i vari settaggi cliccando sul canale w o w – x con il pulsante destro del mouse.

Diffrazione su una singola fenditura





può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Fare attenzione ad eseguire l'esperimento con il laser He-Ne

Il laser He-Ne soddisfa ai requisiti previsti dalla classe 2 della normativa EN 60825-1 "Sicurezza delle apparecchiature a raggi laser". Se si rispettano le note riportate nelle istruzioni per l'uso, il laser He-Ne usato negli esperimenti rientra nei criteri di sicurezza previsti dalle norme.

Non guardare mai il raggio laser diretto o riflesso.

Evitare gli abbagliamenti.

Descrizione dell'esperimento

I fenomeni di diffrazione si verificano quando un raggio luminoso che si propaga liberamente incontra un ostacolo come, ad esempio, un diaframma ad iride o una fenditura. La deviazione della luce dal percorso rettilineo che si verifica in questo caso, si chiama diffrazione.

L'esperimento consiste nel misurare la tensione di una fotocellula in funzione dell'angolo di diffrazione. Si nota che, al diminuire della larghezza della fenditura, la figura di diffrazione si sposta sempre più all'interno di una zona d'ombra. I risultati della misura si possono confrontare con quelli previsti teoricamente dal seguente modello matematico riguardante l'intensità della diffrazione $U \propto (\sin(\pi b/\lambda \cdot \alpha)/(\pi b/\lambda \cdot \alpha))^2$; in questa formula vanno inseriti come parametri la larghezza b della fenditura e la lunghezza d'onda λ della radiazione.Nel caso di piccoli angoli di diffrazione α, il suo valore si calcola facilmente con la relazione $\alpha \approx \tan \alpha = s/L$ in cui L è la distanza tra l'oggetto che provoca la diffrazione e la fotocellula ed s è lo spostamento trasversale della fotocellula.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	µV-box	524 040

1	Box generatore di corrente	524 031
	con Trasduttore di spostamento e	529 031
	Coppia di cavi, 1 m, rosso e blu	501 46
	o	
1	Sensore di moto rotatorio S	524 082
1	Laser He-Ne, polarizzato linearmente	471 840
1	Banco ottico di precisione, 2 m	460 33
4	Cavalieri, H=90 mm/B=60 mm	460 374
1	Cavaliere scorrevole	460 383
1	Lente con telaio, f = +5 mm	460 01
1	Lente con telaio, f = +50 mm	460 02
1	Fenditura regolabile	460 14
1	Sostegno per elementi a spina	460 21
1	Fotocellula STE 2/19	578 62
1	Morsetto da tavolo	301 07
1	Filo di refe, 10 m	309 48
1	Serie di 12 pesi, 50 g ciascuno	342 61
1	Coppia di cavi, 100 cm, rosso e blu	501 46
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Montaggio dell'esperimento (vedere figura)

Nota: la regolazione va fatta in ambiente poco illuminato.

- Con un cavaliere, montare il laser He-Ne sul banco ottico come mostrato in figura.
- Per mezzo del cavaliere scorrevole e del sostegno per elementi a spina, montare la fotocellula ad una distanza di circa. 1,90 m dal laser. La fotocellula va posizionata al centro del cavaliere scorrevole. Attaccare alla fotocellula due strisce di carta scura in modo da ottenere sulla sinistra una fessura d'ingresso di circa 1 mm.
- Dirigere il laser verso la fotocellula e chiudere l'interruttore.
- Regolare l'altezza del laser in modo che il raggio colpisca il centro della fotocellula.
- Posizionare la lente sferica con distanza focale f = +5 mm di fronte al laser ad una distanza di circa 1 cm. Il raggio laser deve coprire la fotocellula.
- Posizionare la lente convergente con distanza focale f = +50 mm di fronte alla lente sferica ad una distanza di circa 55 mm e spostarla lungo il banco ottico verso la lente sferica in modo da mettere a fuoco il raggio laser che si proietta sulla fotocellula.
- Spostare la lente convergente lungo il banco ottico verso la lente sferica in modo che il diametro del raggio laser sulla fotocellula sia di circa 6 mm. Ora il raggio laser deve avere un profilo circolare di diametro costante lungo tutto l'asse ottico.
- Mettere il diaframma con la fenditura regolabile sul banco ottico e spostarlo in modo che la sua distanza L dalla fotocellula sia di circa 1,50 m.
- Bloccare il sensore di spostamento al tavolo con l'apposito morsetto come mostrato in figura.
- Mediante il sensore di spostamento e il box generatore di corrente collegato all'ingresso A di Sensor-CASSY, misurare lo spostamento s_{A1} perpendicolare rispetto all'asse ottico.
- Per misurare la tensione, collegare la fotocellula all'ingresso B di Sensor-CASSY con il µV-box.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Mettere la fotocellula nella posizione opposta a quella del sensore e ad una distanza di -6,0 cm.
- Girare la manopola del sensore di spostamento fino all'arresto in modo che la distanza s_{A1} sia di circa -6,0 cm. Se dopo la rotazione il segno della distanza risulta sbagliato, collegare il box generatore di corrente all'altro braccio del sensore di spostamento.
- Legare il filo di refe al sostegno per elementi a spina, avvolgerlo una volta attorno alla manopola del sensore di spostamento ed appendervi un peso.
- Calibrare lo zero dello spostamento – questa posizione si ha quando la fotocellula si trova al centro del cavaliere scorrevole (= zero della scala o posizione di massima intensità).
- Inserire il **valore di riferimento** 0 cm in Settaggi sA1 **Corretto**, quindi selezionare **Offset Corretto**.
- Spostare la fotocellula in direzione opposta rispetto al sensore e lasciarla in tale posizione.

- Se necessario, **Correggere** la luminosità di fondo in Settaggi UB1. Per questa operazione, inserire il valore di riferimento 0 mV e selezionare **Offset Corretto**.
- Avviare la misura con **F9** (compare il messaggio **Nessun Segnale di Trigger**).
- Spostare la fotocellula molto lentamente avvicinandola al sensore di spostamento. Quando si raggiunge la posizione -5,5 cm, cominciare la registrazione dei dati.
- Arrestare la misura con **F9**.

Valutazione dei risultati

Durante la misura compare la distribuzione delle figure di diffrazione. Ricorrendo alla Interpolazione libera (**Alt+F**), si può fare il confronto tra questa distribuzione ed i risultati ottenuti con il modello matematico valido per piccoli angoli di diffrazione $\alpha \approx \tan \alpha = s_{A1}/L$. Utilizzare la seguente formula:

A*(sin(180*B/0.633*(x-C)/150)/(180*B/0.633*(x-C)/150))^2

in cui

x: spostamento s_{A1} perpendicolare all'asse ottico
A: intensità I_0
B: larghezza b della fenditura in μm
C: correzione della posizione del massimo principale
L: distanza tra il diaframma e la fotocellula (in questo caso: L = 150 cm)
λ: lunghezza d'onda del raggio laser He-Ne (in questo caso: λ = 0,633 μm)

In questa interpolazione, nota la lunghezza d'onda λ = 0,633 μm del raggio laser He-Ne, si può determinare la larghezza b della fenditura. Oppure, nota la larghezza b della fenditura, si può determinare la lunghezza d'onda λ del raggio laser. In questo caso, bisogna modificare la formula nel modo seguente:

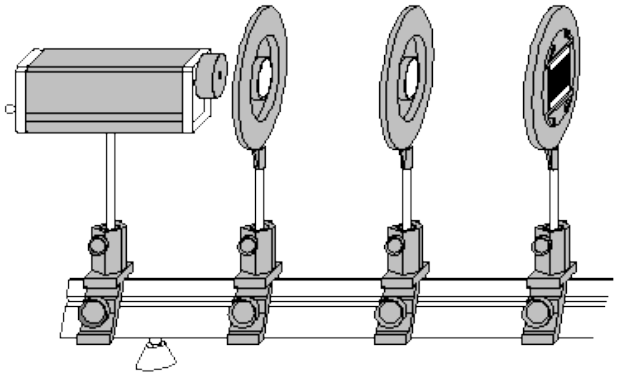
A*(sin(180*240/B*(x-C)/150)/(180*240/B*(x-C)/150))^2

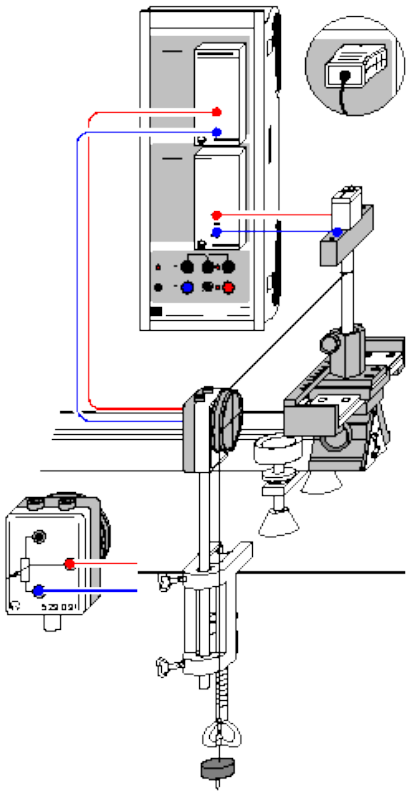
Per eseguire una Interpolazione libera, bisogna scegliere sempre opportunamente il valore di partenza per la larghezza della fenditura, per es. B=240 (μm) al posto di b=0,24 mm.

Nota

In questo esperimento sulla diffrazione della luce con una singola fenditura, si può registrare manualmente la distribuzione delle intensità luminose. I risultati della misura si possono registrare anche automaticamente con la VideoCom (esperimento P5.3.1.6).

Diffrazione su fenditure multiple





può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Fare attenzione ad eseguire l'esperimento con il laser He-Ne

Il laser He-Ne rispetta i requisiti previsti dalla classe 2 della normativa EN 60825-1 "Sicurezza delle apparecchiature a raggi laser". Se si rispettano le note riportate sulle istruzioni per l'uso, il laser He-Ne usato negli esperimenti rientra nei criteri di sicurezza previsti dalle norme.

Non guardare mai il raggio laser diretto o riflesso.

Evitare gli abbagliamenti.

Descrizione dell'esperimento

I fenomeni di diffrazione si verificano quando un raggio luminoso che si propaga liberamente incontra un ostacolo come, ad esempio, un diaframma ad iride o una fenditura. La deviazione della luce dal percorso rettilineo che si osserva in questo caso, si chiama diffrazione.

L'esperimento consiste nel misurare la tensione di una fotocellula in funzione dell'angolo di diffrazione. Si nota che, al diminuire della larghezza della fenditura, la figura di diffrazione si sposta sempre più all'interno di una zona d'ombra. I risultati della misura si possono confrontare con quelli previsti teoricamente dal seguente modello matematico riguardante l'intensità della diffrazione $U \propto (\sin(\pi b/\lambda\cdot\alpha)/(\pi b/\lambda\cdot\alpha))^2 * (\sin(N\pi d/\lambda\cdot\alpha)/(\pi d/\lambda\cdot\alpha))^2$ in cui vanno inseriti come parametri la larghezza b, distanza d fra le fenditure, il numero di fenditure N, la loro distanza d e la lunghezza d'onda λ. Nel caso di piccoli angoli di diffrazione α, il suo valore si calcola facilmente con la relazione $\alpha \approx \tan \alpha = s/L$ in cui L è la distanza tra l'oggetto che provoca la diffrazione e la fotocellula ed s è lo spostamento della fotocellula .

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200

1	µV-box	524 040
1	Box generatore di corrente	524 031
	con Trasduttore di spostamento e	529 031
	Coppia di cavi, 1 m, rosso e blu	501 46
	o	
1	Sensore di moto rotatorio S	524 082
1	Laser He-Ne, polarizzato linearmente	471 840
1	Banco ottico di precisione, 2 m	460 33
4	Cavalieri, H=90 mm/B=60 mm	460 374
1	Cavaliere scorrevole	460 383
1	Lente con telaio, f = +5 mm	460 01
1	Lente con telaio, f = +50 mm	460 02
1	Diaframma con 3 fenditure doppie	469 84
1	Diaframma con 4 fenditure doppie	469 85
1	Diaframma con 5 fenditure multiple	469 86
1	Sostegno con morsetti a molla	460 22
1	Fotocellula STE 2/19	578 62
1	Sostegno per elementi a spina	460 21
1	Morsetto da tavolo	301 07
1	Filo di refe, 10 m	309 48
1	Serie di 12 pesi, 50 g ciascuno	342 61
1	Coppia di cavi, 100 cm, rosso e blu	501 46
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Montaggio dell'esperimento (vedere figura)

Nota: la regolazione va fatta in ambiente poco illuminato.

- Con un cavaliere, montare il laser He-Ne sul banco ottico come mostrato in figura.
- Per mezzo del cavaliere scorrevole e del sostegno per elementi a spina, montare la fotocellula ad una distanza di circa. 1,90 m dal laser. La fotocellula va posizionata al centro del cavaliere scorrevole. Attaccare alla fotocellula due strisce di carta scura in modo da ottenere sulla sinistra una fessura d'ingresso di circa 1 mm.
- Dirigere il laser verso la fotocellula e chiudere l'interruttore.
- Regolare l'altezza del laser in modo che il raggio colpisca il centro della fotocellula.
- Posizionare la lente sferica con distanza focale f = +5 mm di fronte al laser ad una distanza di circa 1 cm. Il raggio laser deve coprire la fotocellula.
- Posizionare la lente convergente con distanza focale f = +50 mm di fronte alla lente sferica ad una distanza di circa 55 mm e spostarla lungo il banco ottico verso la lente sferica in modo da mettere a fuoco il raggio laser che si proietta sulla fotocellula.
- Spostare la lente convergente lungo il banco ottico verso la lente sferica in modo che il diametro del raggio laser sulla fotocellula sia di circa 6 mm. Ora il raggio laser deve avere un profilo circolare di diametro costante lungo tutto l'asse ottico.
- Mettere il diaframma con la fenditura regolabile sul banco ottico e spostarla in modo che la sua distanza L dalla fotocellula sia di circa 1,50 m.
- Bloccare il sensore di spostamento al tavolo con l'apposito morsetto come mostrato in figura.
- Mediante il sensore di spostamento e il box generatore di corrente collegato all'ingresso A di Sensor-CASSY, misurare lo spostamento s_{A1} perpendicolare all'asse ottico.
- Per misurare la tensione, collegare la fotocellula all'ingresso B di Sensor-CASSY con il µV-box.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Mettere la fotocellula nella posizione opposta a quella del sensore e ad una distanza di -6,0 cm.
- Girare la manopola del sensore di spostamento fino all'arresto in modo che la distanza s_{A1} sia di circa -6,0 cm. Se dopo la rotazione il segno della distanza risulta sbagliato, collegare il box generatore di corrente all'altro braccio del sensore di spostamento.
- Legare il filo di refe al sostegno per elementi a spina, avvolgerlo una volta attorno alla manopola del sensore di spostamento ed appendervi un peso.

- Calibrare lo zero dello spostamento – questa posizione si ha quando la fotocellula si trova al centro del cavaliere scorrevole (= zero della scala o posizione di massima intensità).
- Inserire il **valore di riferimento** 0 cm in Settaggi sA1 **Corretto**, quindi selezionare **Offset Corretto**.
- Spostare la fotocellula in direzione opposta a quella del sensore e lasciarla in tale posizione.
- Se necessario, **Correggere** la luminosità di fondo in Settaggi UB1. Per questa operazione, inserire il valore di riferimento 0 mV e selezionare **Offset Corretto**.
- Avviare la misura con **F9** (compare il messaggio **Nessun Segnale di Trigger**).
- Spostare la fotocellula molto lentamente avvicinandola al sensore di spostamento. Quando si raggiunge la posizione -5,5 cm, cominciare la registrazione dei dati.
- Arrestare la misura con **F9**.

Valutazione dei risultati

Durante la misura compare la distribuzione delle figure di diffrazione. Ricorrendo alla Interpolazione libera (**Alt+F**), si può fare il confronto tra questa distribuzione ed i risultati ottenuti con il modello matematico valido per piccoli angoli di diffrazione $\alpha \approx \tan \alpha = s_{A1}/L$. Utilizzare la seguente formula:

A*(sin(180*B/0.633*(x-C)/150)/(180*B/0.633*(x-C)/150))^2 *
(sin(2*180*D/0.633*(x-C)/150)/sin(180*D/0.633*(x-C)/150))^2

In cui

x: spostamento s_{A1} perpendicolare all'asse ottico
A: intensità I_0
B: larghezza b della fenditura in μm
C: correzione della posizione del massimo principale
D: distanza d fra le fenditure in μm
N: numero di fenditure (in questo caso fenditura doppia: N = 2)
L: distanza tra il diaframma e la fotocellula (in questo caso: L = 150 cm)
λ: lunghezza d'onda del raggio laser He-Ne (in questo caso: λ = 0,633 μm)

In questa interpolazione, nota la lunghezza d'onda λ = 0,633 μm del raggio laser He-Ne, si può determinare la larghezza b delle fenditure e la loro distanza d. Oppure, nota la larghezza b delle fenditure e la loro distanza d, si può determinare la lunghezza d'onda λ del raggio laser.

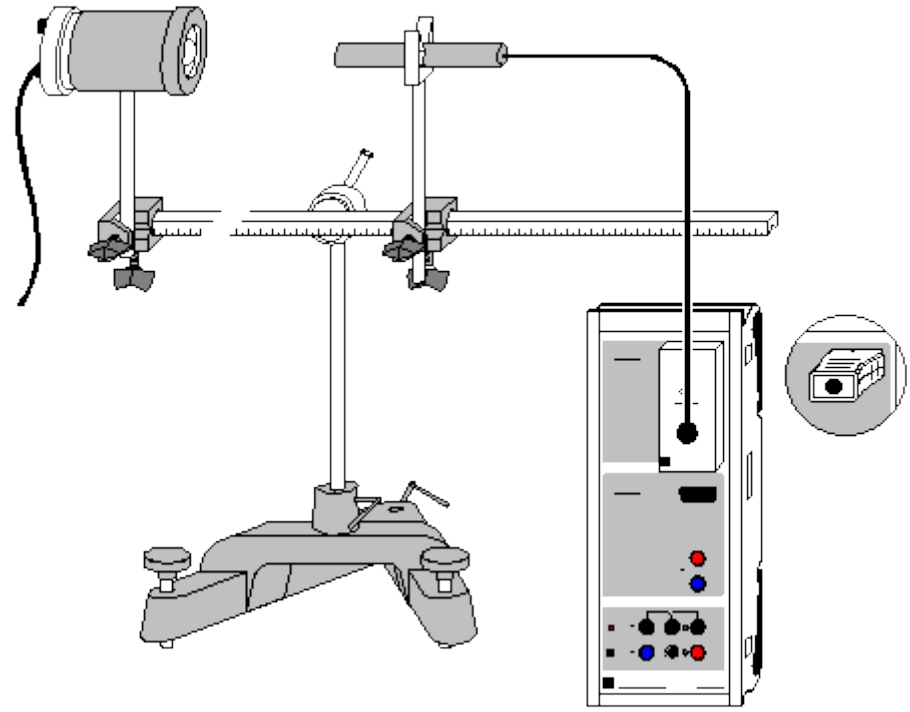
Per eseguire una Interpolazione liberat, bisogna scegliere opportunamente il valore di partenza per la larghezza e la distanza delle fenditure, per es. B=200 (μm) al posto di b=0,2 mm e D=250 (μm) al posto di d=0,25 mm.

Per N > 2, se i massimi secondari non sono ben visibili, non si riesce a determinare la distanza d delle fenditure mediante Interpolazione libera. In questo caso, si può inserire l'effettivo valore della distanza d espresso in μm come dato di partenza per l'interpolazione e poi tenerlo sempre costante (per es. 250 al posto di 0,25 mm).

Nota

In questo esperimento sulla diffrazione della luce con fenditure multiple, si può registrare manualmente la distribuzione delle intensità luminose. I risultati della misura si possono registrare anche automaticamente con la VideoCom (esperimento P5.3.1.6).

Intensità della luce inversamente proporzionale al quadrato della distanza



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

In questo esperimento si misura l'intensità luminosa E in funzione della distanza tra il filamento di una lampada ad incandescenza ed un sensore di luminosità. Si può dimostrare che E è inversamente proporzionale al quadrato della distanza, cioè varia secondo $1/d^2$.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di luce o Adattatore per luce S	524 051(1)
1	Sensore di luminosità	666 243
1	Lampada, 6 V, 30 W	450 51
1	Portalampada	450 60
1	Generatore di tensione, 6 V, 30 W, per es.	521 210
1	Banco ottico piccolo	460 43
2	Morsetti Leybold	301 01
1	Spinotto a molla	590 02
1	Asta di sostegno	590 13
1	Base di appoggio a V, 20 cm	300 02
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Montare sul banco ottico il sensore di luminosità e la lampada con il suo portalampada. Fissare il sensore di luminosità all'asta di sostegno con lo spinotto a molla. Spostare a fine corsa il supporto del portalampada.

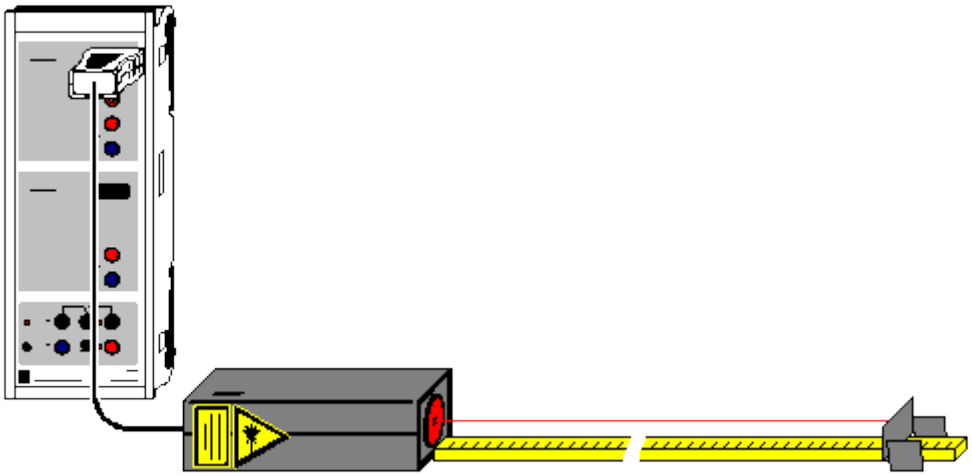
Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Mediante Settaggi EA1, inserire il fattore di correzione F del sensore di luminosità (stampato sul dispositivo); selezionare **Corretto**, eseguire l'inserimento e cliccare su **Fattore Corretto**.
- Correggere la luminosità dell'ambiente con Settaggi EA1, **Corretto**, **Offset Corretto**.
- Accendere la lampada e fissare una distanza di 10 cm tra il filamento della lampada ed il sensore di luminosità.
- Inserire questo valore nella tabella (cliccare sulla prima riga della colonna **d** ed inserire il valore).
- Trasferire la luminosità nella tabella con **F9**.
- Aumentare la distanza ad intervalli costanti, scrivere i valori della distanza nella tabella e confermare di volta in volta i valori della luminosità con **F9**.

Valutazione dei risultati

I risultati ottenuti durante la misura, sono visualizzati in un diagramma. Per confermare che l'intensità della luce è inversamente proporzionale al quadrato della distanza, bisogna interpolare il diagramma con l'iperbole $1/x^2$, oppure convertire l'asse x in $1/x^2$ (cliccare sull'asse con il mouse) ed interpolare con l'andamento lineare.

Velocità della luce nell'aria



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

☐ Carica esempio

Nota di sicurezza

Osservare le note di sicurezza riportate nella scheda d'uso del sensore di moto laser S.

Descrizione dell'esperimento

Le moderne misure di distanze usano per la misura un raggio laser modulato periodicamente. Queste determinano lo spostamento di fase fra il raggio laser modulato emesso e quello riflesso e, conoscendo la frequenza di modulazione, ottengono il "tempo di volo" t della luce nel suo percorso di andata e ritorno dal riflettore. Solo successivamente i misuratori di distanza calcolano la distanza con l'aiuto della velocità della luce conosciuta.

In questo esperimento, il sensore di moto laser S (laser S) viene usato come misuratore del "tempo di volo" poichè ha anche la possibilità di fornire direttamente il "tempo di volo" t. Viene confermata la proporzionalità fra la distanza ed il tempo impiegato a percorrerla, e viene calcolata la velocità della luce.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Sensore di moto laser S	524 073
1	Blocco di fine corsa	da 337 116
1	Riga di legno	311 03
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere disegno)

Porre il laser S sul tavolo poggiato sulla faccia larga, e collegarlo all'ingresso A del CASSY. Incollare un pezzo del foglio retroriflettente fornito con il laser S sul blocco di fine corsa, e porre il blocco di fine corsa sulla riga a una distanza di 30 cm dal laser in modo che il raggio laser incida perpendicolarmente sul centro del foglio.

Prima della misura, lasciar scaldare il laser S per circa 5 minuti per far sì che lo spostamento dello zero diventi il più piccolo possibile.

Esecuzione dell'esperimento

☐ Carica settaggi

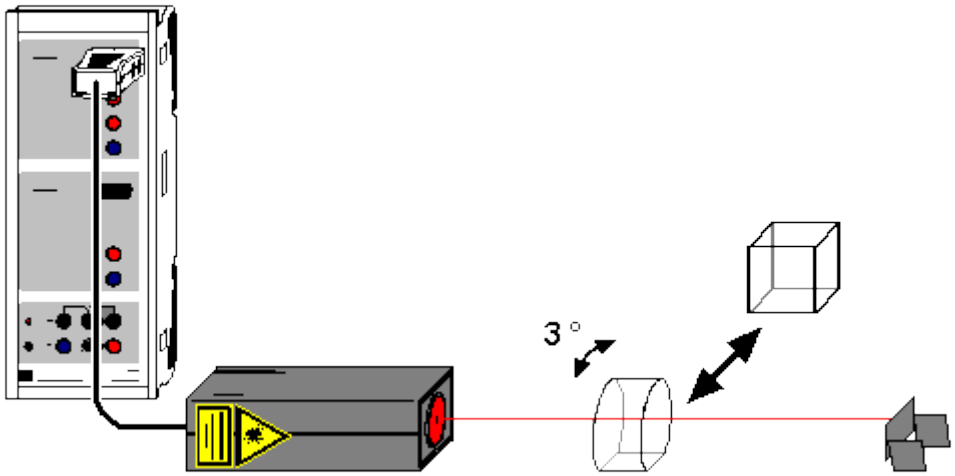
- Definire lo zero del "tempo di volo" (**—> 0 <—** in Settaggi ΔtA1).
- Inserire la distanza d=0 nella prima colonna della tabella (cliccare con il mouse sul primo campo della tabella).

- Registrare il primo punto di misura (d=0, Δt=0) con **F9**.
- Allontanare il blocco di fine corsa dal laser di 10 cm, e inserire la distanza 0,1 m nella prima colonna della tabella (cliccare con il mouse sul secondo campo della tabella).
- Registrare il secondo punto di misura (d=0,1 m, Δt) con **F9**.
- Ripetere la misura per distanza maggiori fino a circa 50 cm.

Valutazione

Il percorso ottico s del raggio laser è uguale a due volte la distanza d. Questo è già considerato nel diagramma s(t) nella visualizzazione **Velocità della luce**. Dal diagramma s(t) viene confermata la proporzionalità fra s e t, cioè s = c·t. Il fit con la linea retta passante per l'origine porta alla costante di proporzionalità c = 0,3 m/ns = 300.000 km/s.

Velocità della luce in materiali vari



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Nota di sicurezza

Osservare le note di sicurezza riportate nella scheda d'uso del sensore di moto laser S.

Descrizione dell'esperimento

Le moderne misure di distanze usano per la misura un raggio laser modulato periodicamente. Queste determinano lo spostamento di fase fra il raggio laser modulato emesso e quello riflesso e, conoscendo la frequenza di modulazione, ottengono il "tempo di volo" t della luce nel suo percorso di andata e ritorno dal riflettore. Solo successivamente i misuratori di distanza calcolano la distanza con l'aiuto della velocità della luce conosciuta.

In questo esperimento, il sensore di moto laser S (laser S) viene usato come misuratore del "tempo di volo" poichè ha anche la possibilità di fornire direttamente il "tempo di volo" t. Nel percorso del raggio vengono posti acqua e vetro acrilico di spessore d, e quindi viene misurato il risultante aumento del "tempo di volo" Δt. Con la velocità della luce c in aria misurata con il precedente esperimento, si può ora determinare la velocità della luce c_M in altri materiali:

$c_M = 2d/(2d/c+\Delta t) = 1/(1/c+\Delta t/2d)$.

Infine, l'indice di rifrazione n viene determinato con

$n = c/c_M = c\cdot(1/c+\Delta t/2d) = 1 + c/2d\cdot\Delta t$.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Sensore di moto laser S	524 073
1	Blocco di fine corsa	da 337 116
1	Vaschetta in vetro da specchio, 50 mm × 50 mm × 50 mm	477 03
1	Blocco di vetro acrilico	476 34
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere disegno)

Porre il laser S sul tavolo poggiato sulla faccia larga, e collegarlo all'ingresso A del CASSY. Incollare un pezzo del foglio retroriflettente fornito con il laser S sul blocco di fine corsa, e porre il blocco di fine corsa sulla riga a una distanza di 50 cm dal laser in modo che il raggio laser incida perpendicolarmente sul centro del foglio.

Prima della misura, lasciar scaldare il laser S per circa 5 minuti per far sì che lo spostamento dello zero diventi il più piccolo possibile.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

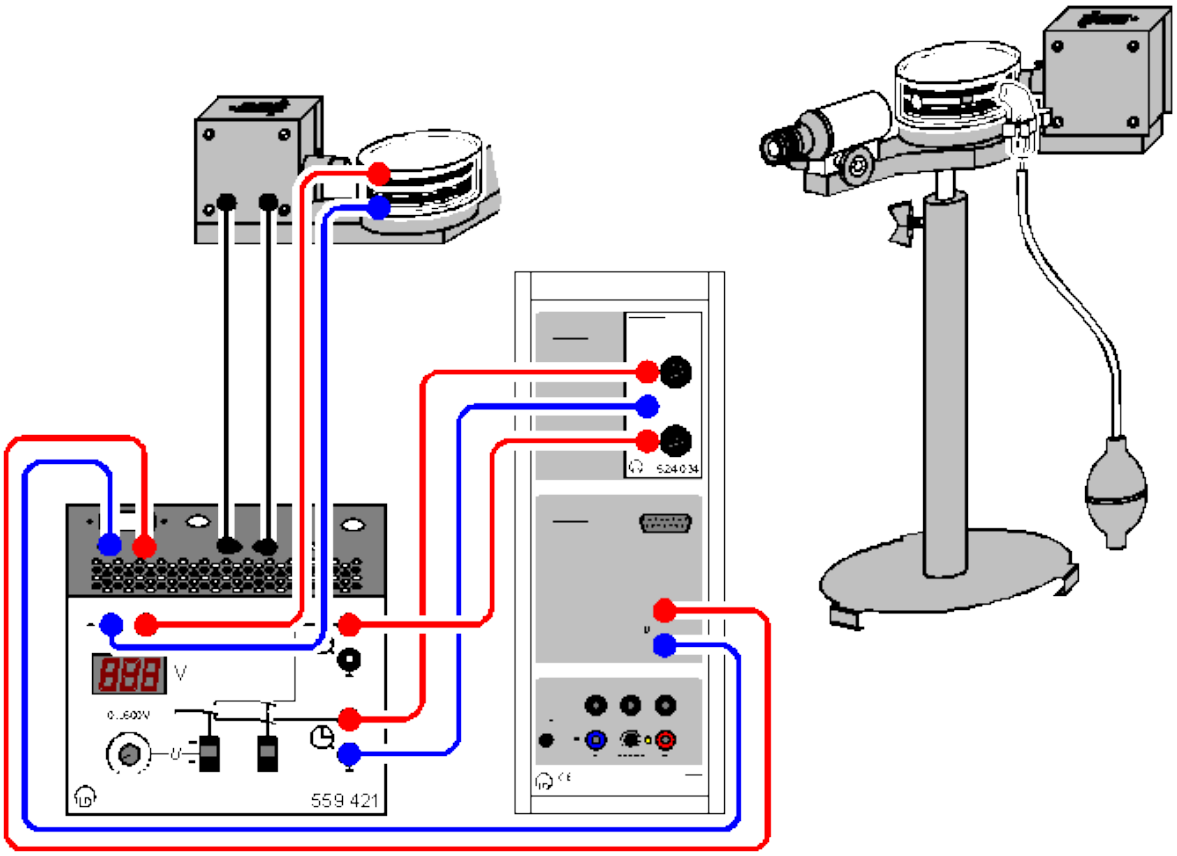
- Mettere la vaschetta in vetro da specchio vuota e asciutta nel percorso del raggio in modo che le riflessioni visibili del raggio laser dalla superficie di vetro non ritornino sul laser (ruotare la cella di circa 3°). Altrimenti anche il laser vede queste riflessioni e non potrà calcolare correttamente il "tempo di volo". L'aumento del percorso risultante da questa rotazione è più piccola del 1 % e può essere trascurato.
- Definire lo zero del "tempo di volo" (**—> 0 <—** in Settaggi ΔtA1).
- Registrare il primo "punto di misura" (aria) con **F9**.
- Riempire di acqua la vaschetta in vetro da specchio.
- Registrare il secondo punto di misura (acqua) con **F9**.
- Rimuovere la vaschetta.
- Definire un nuovo zero del "tempo di volo" (**—> 0 <—** in Settaggi ΔtA1).
- Mettere il blocco di vetro acrilico nel percorso del raggio in modo che le riflessioni visibili del raggio laser dalla superficie di vetro non ritornino sul laser (ruotare la cella di circa 3°).
- Registrare il terzo punto di misura (vetro acrilico) con **F9**.

Valutazione

Le due visualizzazioni **Velocità della luce** e **Indice di rifrazione** mostrato i risultati di misura con diagrammi a barre. La velocità della luce in materiali che hanno un densità ottica maggiore diminuisce e l'indice di rifrazione aumenta.

I valore forniti dai libri degli indici di rifrazione dell'acqua e del vetro acrilico sono n=1,33 e n=1,5.

Esperimento di Millikan



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Nel 1910, R. A. Millikan riuscì a dimostrare la quantizzazione di piccole quantità di cariche elettriche con il famoso metodo delle gocce di olio. Osservò le gocce d'olio cariche in un campo elettrico verticale di un condensatore piano con la distanza fra le armature d e la carica q di una goccia d'olio in equilibrio calcolata dal suo raggio r e dal campo elettrico E=U/d. In questo esperimento, trovò che q appare solo come multiplo di una carica elementare e, cioè q = n·e.

Teoria

Quando una goccia d'olio con raggio r_0 cade con la velocità $-v_1$, è sottoposta all'attrito di Stokes, che induce una forza diretta verso l'alto $F_1 = 6\pi\cdot\eta\cdot r_0\cdot v_1$ (η = viscosità dell'aria). Quando la goccia d'olio sale con la velocità v_2 in un campo elettrico esterno E, la forza diretta verso il basso dovuta all'attrito di Stokes è $F_2 = -6\pi\cdot\eta\cdot r_0\cdot v_2$. La differenza fra queste due forze è esattamente la forza $q_0\cdot E$ esercitata dal campo elettrico E applicato, cioè

$q_0\cdot E = q_0\cdot U/d = F_1 - F_2 = 6\pi\cdot\eta\cdot r_0\cdot(v_1+v_2)$ o

$q_0 = 6\pi\cdot\eta\cdot r_0\cdot d\cdot(v_1+v_2) / U.$

Per determinare la carica q_0, è richiesto solo il raggio r_0 della goccia d'olio in esame, che, comunque, è facilmente ottenuta dall'equilibrio delle forze, la risultante fra la forza gravitazionale $F = -V\cdot\Delta\rho\cdot g$ e la forza d'attrito di Stokes F_1 nel caso di una goccia in caduta, dove $\Delta\rho$ è la differenza fra le densità dell'olio e dell'aria.

Così si ha:

$0 = F+F_1 = -4/3\ \pi\cdot r_0^3\cdot\Delta\rho\cdot g + 6\pi\cdot\eta\cdot r_0\cdot v_1$ o

$r_0 = \sqrt{(9\eta v_1 / 2\Delta\rho g)}$.

Per una determinazione più precisa della carica q, bisogna considerare che l'attrito di Stokes deve essere corretto per raggi r molto piccoli poiché questi sono dell'ordine di grandezza del cammino libero medio delle molecole di aria. La formula corretta per la forza d'attrito, che dipende dalla pressione p dell'aria, diventa

$F = 6\pi\eta r v / (1+b/rp)$

con b = 80 µm·hPa (costante).

Con l'abbreviazione A = b/p, il raggio r corretto è

$r = \sqrt{(r_0^2 + A^2/4)} – A/2$

e la carica q corretta è

$q = q_0 / (1+A/r)^{1,5}$.

Metodo dell'equilibrio

In questa versione dell'esperimento, la tensione U delle armature del condensatore è regolata in modo che una particolare goccia d'olio rimanga in equilibrio, cioè la velocità di salita è v_2=0. La velocità v_1 di caduta viene misurata dopo aver spento la tensione U del condensatore. Poichè v_2=0, le formule sopra sono leggermente semplificate.

Comunque, v_2=0 non può essere regolata con molta precisione per ragioni fondamentali. Quindi il metodo dell'equilibrio genera degli errori di misura maggiori e una diffusione più larga nella distribuzione della frequenza di quella del metodo seguente.

Metodo di caduta/salita

Nella seconda versione, vengono misurate le velocità v_1 e v_2 e la tensione U. Questo metodo rende possibile misure di valori più precise del metodo dell'equilibrio poiché la velocità v_2 viene realmente misurata.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Timer box	524 034
1	Apparecchio di Millikan	559 411
1	Alimentatore per Millikan	559 421
1	Cavo di collegamento, 50 cm, rosso	500 421
3	Coppia di cavi, 50 cm, rosso e blu	501 45
1	Coppia di cavi, 50 cm, nero	501 451
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Montare l'apparecchio di Millikan come descritto nella scheda di istruzione per l'uso, riempire l'olio, e realizzare il circuito come mostrato nel disegno. Collegare l'uscita del cronometro 1 all'ingresso E e l'uscita del cronometro 2 all'ingresso F del box timer. Collegare l'uscita della tensione dell'alimentatore all'ingresso B del Sensor-CASSY.

Attenzione: il microscopio genera una immagine invertita. Quindi tutte le direzioni dei moti sono invertiti. In seguito, comunque, viene descritto il moto reale.

Per una migliore visione delle gocce d'olio, si raccomanda di riprodurre l'immagine del microscopio per mezzo di una video camera (p. es. VideoFlex della ken-a-vision). In questo caso, la camera può riprodurre l'immagine a rovescio in modo che la direzione visibile del moto corrisponde alla direzione reale.

Esecuzione dell'esperimento

a) Metodo dell'equilibrio

- Carica settaggi
- Orientare verticalmente l'oculare micrometrico e ruotare il porta lente dell'oculare fino a vedere chiaramente la scala micrometrica.
- Porre gli interruttori U e t in posizione bassa.

- Accendere la tensione del condensatore con l'interruttore U e regolarla con il potenziometro rotante (400-600 V) in modo che la goccia d'olio scelta salga con una velocità di circa 1-2 segni della scala graduate al secondo (cioè. Si vedrà in caduta osservando attraverso l'oculare). Allora ridurre la tensione fino all'equilibrio della goccia d'olio.
- Spegnere la tensione del condensatore con l'interruttore U.
- Appena la goccia d'olio si trova nel segno della scala graduata selezionato, avviare la misura del tempo con l'interruttore t.
- Appena la goccia d'olio è caduta di altri 20 segni (corrisponde a 1 mm) della scala graduata, fermare la misura del tempo con l'interruttore t e accendere di nuovo la tensione del condensatore con l'interruttore U.
- Inserire I valori misurati del tempo di caduta t_1 e della tensione U nella tabella con **F9**. La carica q calcolata viene inserita automaticamente nell'istogramma.
- Ripetere la misura per alter gocce d'olio.

b) Metodo di caduta/salita

Carica settaggi

- Orientare verticalmente l'oculare micrometrico e ruotare il porta lente dell'oculare fino a vedere chiaramente la scala micrometrica.
- Porre gli interruttori U e t in posizione bassa.
- Accendere la tensione del condensatore con l'interruttore U e regolarla con il potenziometro rotante (400-600 V) in modo che la goccia d'olio scelta salga con una velocità di circa 1-2 segni della scala graduate al secondo (cioè. Si vedrà in caduta osservando attraverso l'oculare). Allora ridurre la tensione fino all'equilibrio della goccia d'olio.
- Spegnere la tensione del condensatore con l'interruttore U.
- Appena la goccia d'olio si trova nel segno della scala graduata selezionato, avviare la misura del tempo con l'interruttore t.
- Appena la goccia d'olio è caduta (cioè salita osservando nell'oculare) di altri 20 segni (corrisponde a 1 mm) della scala graduata, accendere di nuovo la tensione del condensatore con l'interruttore U. In così la misura del tempo t_2 viene avviata automaticamente.
- Appena la goccia d'olio è di nuovo all'altezza del primo segno della scala graduate, fermare la misura del tempo con l'interruttore t.
- Inserire I valori misurati del tempo di caduta t_1, del tempo di salita t_2 e della tensione U nella tabella con **F9**. La carica q calcolata viene inserita automaticamente nell'istogramma.
- Ripetere la misura per altre gocce d'olio.

Valutazione

Nella valutazione, valori medi può essere tracciata la distribuzione in frequenza misurata e può essere confermata la relazione $q = n \cdot e$ (con $e = 1{,}6022 \cdot 10^{-19}$ C).

Note

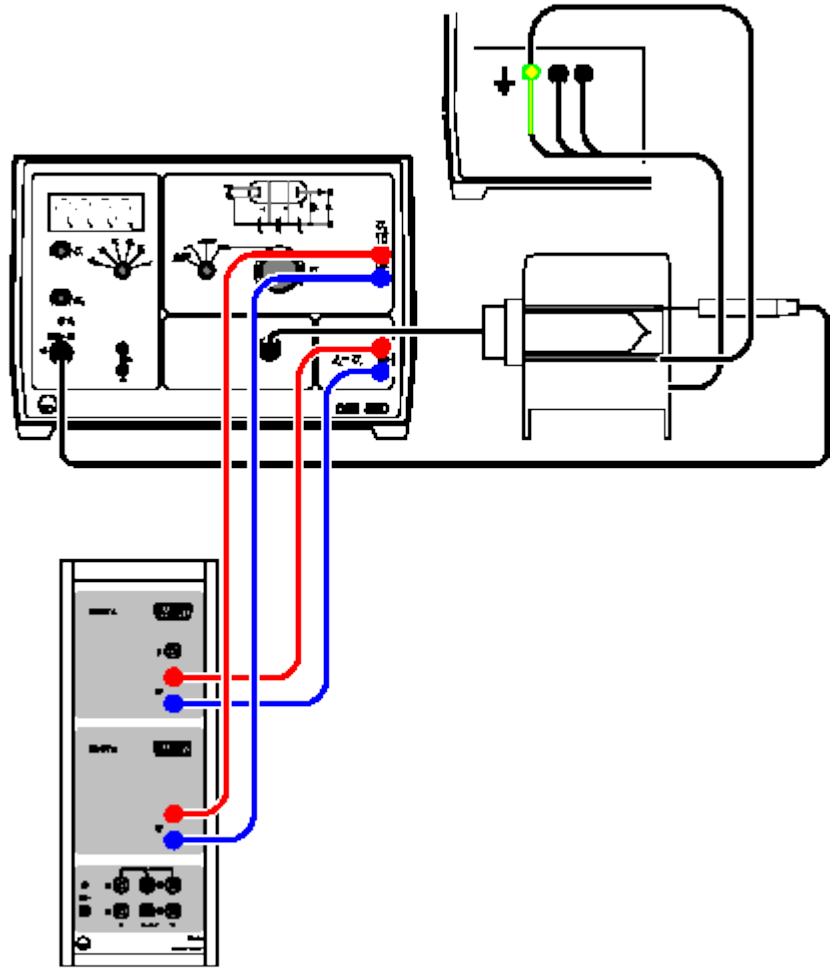
Se vengono selezionate gocce d'olio con carica piccolo, il significato statistico viene raggiunto più rapidamente. Le gocce d'olio con una piccola carica vengono identificate dalla loro piccola dimensione e dal loro moto lento nel campo elettrico.

Se non c'è abbastanza tempo durante le lezioni per osservare circa 20-30 gocce d'olio, si può caricare l'esempio con I valori misurati invece dei soli settaggi. I nuovi valori misurati così si vedranno nell'istogramma come barre di colore rosso confermando i risultati dell'esempio tracciati in nero all'interno della normale incertezza statistica.

Per misurare le cariche q negative, I collegamenti delle armature del condensatore e dell'ingresso B del CASSY devono essere cambiati.

Se la pressione atmosferica locale è considerevolmente diversa da 1013 hPa, la pressione dell'aria dovrebbe essere variata corrispondentemente nella formula definendo il parametro di correzione A. Comunque, I valori dell'esempio visualizzato possono allora essere sbagliati.

Esperimento di Franck-Hertz con mercurio



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Nel 1914, James Franck e Gustav Hertz scoprirono che gli elettroni, quando attraversano i vapori di mercurio, subiscono una perdita di energia secondo "livelli" discreti e che a tale perdita di energia corrisponde una emissione di radiazioni ultraviolette (λ = 254 nm) da parte del mercurio. Pochi mesi più tardi, Niels Bohr si accorse che questo fenomeno era una chiara conferma della validità del suo modello atomico. L'esperimento di Franck-Hertz rappresenta, pertanto, un classico esperimento che conferma la validità della teoria quantistica.

In questo esperimento, la tensione di accelerazione U_2 viene aumentata da 0 a 30 V mentre la tensione di controllo U_1 e la tensione frenante U_3 rimangono costanti, e viene misurata la corrispondente corrente di collettore I_A. Questa corrente inizialmente aumenta, come in un comune tetrodo, ma raggiunge un massimo quando, in prossimità della griglia G_2, gli elettroni hanno acquistato una energia cinetica sufficiente ad eccitare per collisione gli atomi di mercurio (E_{Hg} = 4,9 eV). Dopo la collisione, poiché gli elettroni non riescono più a vincere l'azione frenante della tensione U_3, la corrente diminuisce drasticamente.

Se la tensione di accelerazione U_2 aumenta, gli elettroni raggiungono l'energia necessaria per eccitare gli atomi di mercurio ad una distanza sempre maggiore dalla griglia G_2. Dopo l'urto, gli elettroni vengono accelerate nuovamente per cui, se la tensione di accelerazione è sufficientemente elevate, essi ricevono dal campo elettrico l'energia necessaria per eccitare altri atomi di mercurio. Il risultato è un

secondo massimo, e in corrispondenza di tensioni U_2 maggiori della precedente altri massimi della corrente di collettore I_A.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Tubo di Franck-Hertz Hg	555 854
1	Zoccolo per tubo di Franck-Hertz Hg	555 864
1	Forno elettrico, 230 V	555 81
1	Alimentatore per Franck-Hertz	555 880
1	Sensore di temperatura NiCr-Ni	666 193
2	Coppia di cavi, 100 cm, rosso/blu	501 46
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

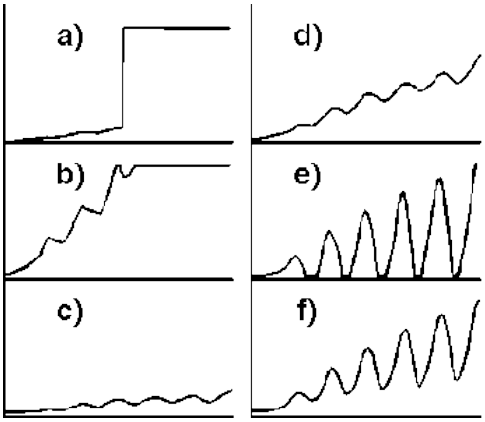
- Accertarsi che l'alimentatore per Franck-Hertz si spento.
- Collegare il forno di riscaldamento alle boccole di sicurezza da 4 mm sul pannello posteriore dell'alimentatore. In particolare, accertarsi che la spina giallo e verde sia collegata alla boccola di sicurezza giallo e verde (terra).
- Inoltre, collegare il nastro di rame del cilindro di rame con spina da 4 mm alla boccola di sicurezza giallo-verde (per schermare il tubo di Franck-Hertz da interferenze di campi esterni).
- Collegare il sensore di temperature "NiCr-Ni" alla boccola DIN e il tubo di Franck-Hertz alla boccola DIN "Franck-Hertz tube" dell'alimentatore.
- Inserire il sensore di temperature nel corrispondente foro cieco del forno di riscaldamento e far scorrere il tubo di Franck-Hertz assieme al suo schermo di rame all'interno del forno.
  Nota: se il contatto termico del sensore di temperature è insufficiente, il valore ottenuto dalla misura risulta inferiore alla temperature effettiva del forno, per cui si rischia di surriscaldare il tubo.
- Ruotare il selettore su RESET e accendere l'alimentatore (dopo pochi secondi, il LED che indica la presenza dei vapori di mercurio (Hg) passa da verde a rosso).
- Verificare i settaggi di default ϑ_S = 180 °C e attendere fino a quando la temperature raggiunge il valore normale di funzionamento (il LED indicatore passa dal rosso al verde, la temperatura ϑ prima raggiunge un massimo, poi diminuisce fino al valore finale).

Se l'indicazione del display comincia a lampeggiare:

- C'è un errore nella predisposizione della misura della temperature (vedere istruzioni per l'uso).
- Collegare l'ingresso in tensione A del Sensor-CASSY all'uscita U_A per la tensione proporzionale alla tensione del collettore e l'ingresso in tensione B del Sensor-CASSY all'uscita $U_2/10$ per la tensione di accelerazione.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Applicare una tensione di controllo U_1 = 1,5 V e una tensione frenante U_3 = 1,5 V e registrare la curva di Franck-Hertz nel modo di funzionamento "Ramp". Per fare questo, avviare la misura con **F9** e immediatamente portare la manopola sul modo di funzionamento "Ramp". La misura si fermerà automaticamente dopo 15 s, quindi riportare la manopola su RESET.



1) Ottimizzazione di ϑ

Se la curva di Franck-Hertz sale improvvisamente (a) e si può vedere una scarica di gas nel tubo di Franck-Hertz attraverso l'apertura per l'inserimento del forno (bagliore blu):

- Riportare immediatamente la manopola nella posizione RESET ed attendere fino al raggiungimento della temperatura di funzionamento.
- Se necessario, aumentare il valore ϑS usando la vite di regolazione del potenziometro (p.es. di 5 °C) e attendere pochi minuti fino a quando il sistema si stabilizza sul nuovo equilibrio termico.

2) Ottimizzazione di U_1

Una maggiore tensione di controllo U_1 comporta una maggiore corrente dovuta all'emissione elettronica.

Se la curva di Franck-Hertz sale troppo rapidamente, cioè l'amplificatore di misura della corrente raggiunge il livello di saturazione con valori inferiori a U_2 = 30 V e la parte superiore della curva di Franck-Hertz viene tagliata (b):

- Diminuire U_1 in modo che la curva abbia una pendenza simile a quella mostrata in (d).

Se la curva di Franck-Hertz è troppo piatta, cioè la corrente di collettore I_A rimane sotto 5 nA in tutta l'area (c):

- Aumentare U_1 fino a quando la pendenza non corrisponde a (d).

Se la curva di Franck-Hertz è piatta anche aumentando U_1:

- Ridurre il valore ϑ_S per la temperatura del forno usando la vite di regolazione del potenziometro.

3) Ottimizzazione U_3

Un aumento della tensione frenante U_3 rende più evidenti i massimi e i minimi della curva di Franck-Hertz; contemporaneamente si ha una diminuzione della corrente di collettore.

Se i massimi e i minimi della curva di Franck-Hertz non sono sufficientemente definiti (d):

- Aumentare alternativamente prima la tensione frenante U_3 e poi la tensione di controllo U_1 fino ad ottenere la forma della curva mostrata in (f).

Se i minimi della curva di Franck-Hertz vengono tagliati in basso (e):

- Ridurre alternativamente prima la tensione frenante U_3 e poi la tensione di controllo U_1 fino ad ottenere la forma della curva mostrata in (f).

La misura con il tubo di Franck-Hertz a Hg nell'esempio è stato fatta usando i parametri U_1 = 2,58 V, U_3 = 1,95 V und ϑ_S = 180 °C.

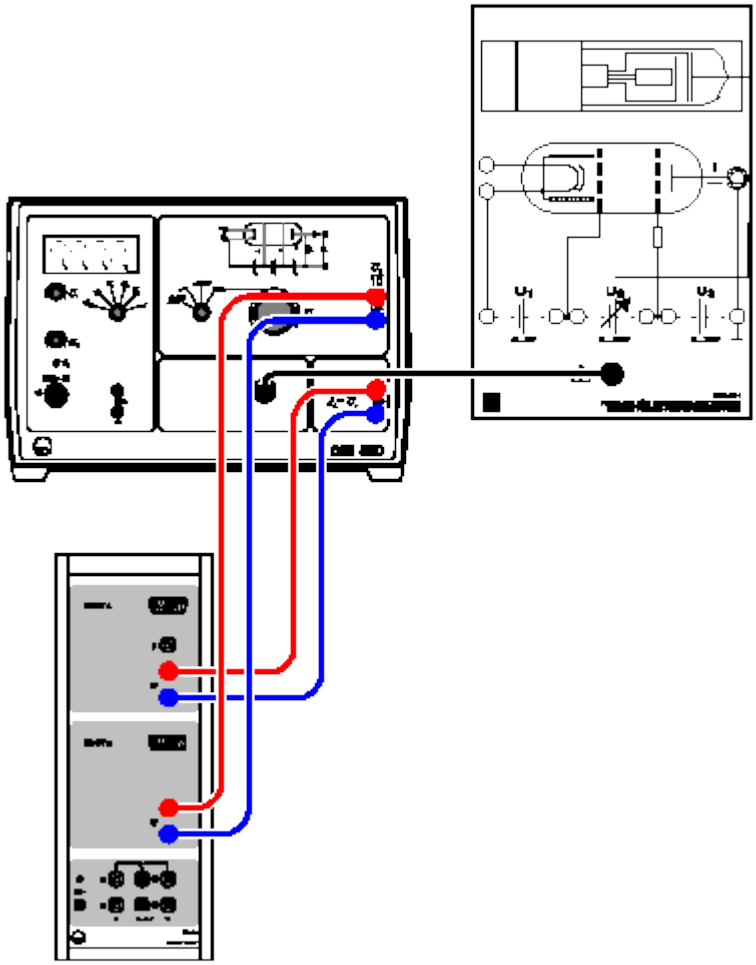
Valutazione

La curva registrata viene valutata tracciando le linee verticali o i centri di picco per trovare la distanza fra i massimi successivi. Nell'esempio, si è trovato un valore medio di U_2 = 5,07 V. Questo corrisponde a un trasferimento di energia ΔE = 5,07 eV.

Il valore trovato nella letteratura per l'energia necessaria per trasferire degli atomi di mercurio dal livello base 1S0 al primo livello 3P1 è EHg = 4,9 eV.

La posizione del primo massimo è determinato dal potenziale di contatto dei materiali dell'elettrodo usato e dal potenziale di controllo U_1. La maggiore distanza fra i massimi di ordine superiore è causata dalla sovrapposizione della curva di Franck-Hertz con la linea caratteristica del tubo.

Esperimento di Franck-Hertz con neon



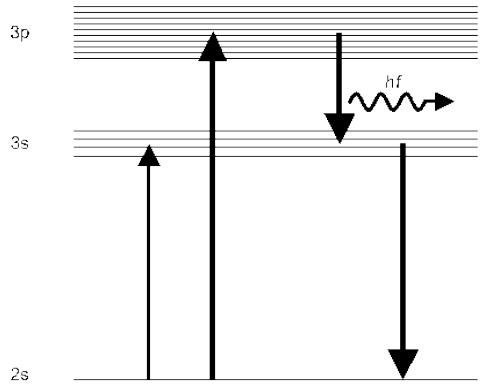
può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Nel 1914, James Franck e Gustav Hertz scoprirono che gli elettroni, quando attraversano i vapori di mercurio, subiscono una perdita di energia secondo "livelli" discreti e che a tale perdita di energia corrisponde una emissione di radiazioni ultraviolette (λ = 254 nm) da parte del mercurio. Pochi mesi più tardi, Niels Bohr si accorse che questo fenomeno era una chiara conferma della validità del suo modello atomico. L'esperimento di Franck-Hertz rappresenta, pertanto, un classico esperimento che conferma la validità della teoria quantistica

In questo esperimento, viene studiata la perdita di energia degli elettroni liberi attraverso urti anelastici (eccitazione per urto) di atomi di neon. L'eccitazione dovuta agli urti anelastici degli elettroni si verifica con maggiore probabilità nel passaggio dal livello di terra ai dieci livelli dello strato 3p ai quali corrisponde un'energia compresa tra 18,4 eV e 19,0 eV. Per i quattro livelli dello strato 3s, compresi fra 16,6 eV e 16,9 eV, la probabilità di eccitazione risulta inferiore. Una diminuzione di energia dello strato 3p rispetto a massa, con conseguente emissione di fotoni, è possibile solo attraverso lo strato 3s. La radiazione luminosa che si ottiene in questo processo si trova nello spettro compreso tra il rosso e il verde, perciò può essere osservata a occhio nudo.



Un tubo di vetro sotto vuoto viene riempito con neon a temperature ambiente e ad una pressione di circa 10 hPa. Il tubo di vetro contiene un sistema di quattro elettrodi. Gli elettroni emessi per effetto termoelettronico vanno a formare una carica spaziale. Questi elettroni sono attratti dal potenziale di controllo U_1 fra il catodo e l'elettrodo di controllo a griglia cava G_1 e quindi accelerate dalla tensione di accelerazione U_2 nella direzione della griglia G_2. Fra G_2 e l'elettrodo collettore, è applicata una tensione frenante U_3. Solo gli elettroni con sufficiente energia cinetica possono raggiungere il collettore e contribuire alla corrente di collettore.

In questo esperimento, si misura la corrente di collettore I_A al variare della tensione di accelerazione U_2 che viene aumentata da 0 a 80 V mentre il potenziale di controllo U_1 e la tensione frenante U_3 rimangono costanti. Questa corrente inizialmente aumenta, come in un comune tetrodo, ma raggiunge un Massimo quando, in prossimità della griglia G_2, gli elettroni hanno acquistato una energia cinetica sufficiente ad eccitare per collisione gli atomi di neon. Dopo la collisione, poiché gli elettroni non riescono più a vincere l'azione frenante della tensione U_3, la corrente diminuisce drasticamente.

Se la tensione di accelerazione U_2 aumenta, gli elettroni raggiungono l'energia necessaria per eccitare gli atomi di neon ad una distanza sempre maggiore dalla griglia G_2. In questo caso, dopo la prima collisione, gli elettroni vengono accelerati nuovamente per cui, se la tensione di accelerazione è sufficientemente elevata, essi ricevono dal campo elettrico l'energia necessaria per eccitare altri atomi di neon. Tutto questo comporta che, in corrispondenza di una tensione U_2 maggiore della precedente, la corrente I_A presenta un altro massimo.

Elenco delle apparecchiature

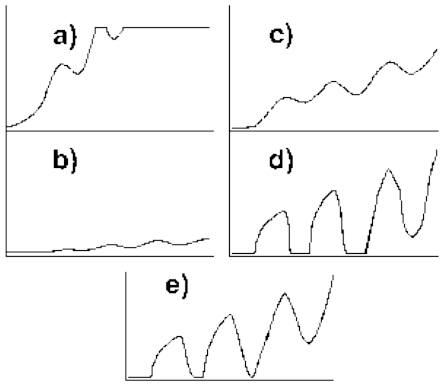
1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Tubo di Franck-Hertz al Ne	555 870
1	Supporto con zoccolo	555 871
1	Cavo di collegamento per FH Ne	555 872
1	Alimentatore per Franck-Hertz	555 880
2	Coppia di cavi, 100 cm, rosso/blu	501 46
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

- Fissare il tubo al Ne di Franck-Hertz sullo zoccolo del supporto e collegarlo con il caco di connessione alla boccola "Franck-Hertz tube" dell'alimentatore per Franck-Hertz.
- Portare il selettore dell'alimentatore per Franck-Hertz su RESET.
- Collegare l'ingresso in tensione di A del Sensor-CASSY all'uscita U_A per la tensione proporzionale alla tensione di collettore e l'ingresso in tensione B di Sensor-CASSY all'uscita $U_2/10$ per la tensione di accelerazione.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Regolare il potenziale di controllo U_1 = 1,5 V e la tensione frenante U_3 = 5 V e registrare la curva di Franck-Hertz nel modo di funzionamento "Ramp". Per far questo, avviare la misura con **F9** e immediatamente portare il selettore su "Ramp". La misura si fermerà automaticamente dopo 40 s, quindi riportare il selettore su RESET.



1) Ottimizzazione di U_1

Un aumento del potenziale di controllo U_1 comporta una maggiore corrente dovuta alla emissione elettronica.

Se la curva di Franck-Hertz aumenta troppo rapidamente e la parte superiore viene tagliata (a) perchè l'amplificatore di misura della corrente raggiunge il livello di saturazione con valori inferiori a U_2 = 80 V:

- Ridurre U_1 fino a quando la pendenza della curva corrisponde a (c).

Se la curva di Franck-Hertz è troppo piatta, cioè la corrente di collettore I_A risulta sempre inferiore a 5 nA (b):

- Aumentare U_1 fino a quando la pendenza della curva corrisponde a (c).
- Se necessario, ottimizzare il riscaldamento del catodo come descritto nelle istruzioni per l'uso dell'alimentatore per Franck-Hertz.

2) Ottimizzazione di U_3

Un aumento della tensione frenante U_3 rende più evidenti i massimi e i minimi della curva di Franck-Hertz; contemporaneamente si ha una diminuzione della corrente di collettore.

Se massimi e minimi della curva di Franck-Hertz curve non sono sufficientemente definiti (c):

- Aumentare alternativamente prima la tensione frenante U_3 e poi il potenziale di controllo U_1 fino a quando si ottiene la forma della curva mostrata in (e).

Se i minimi della curva di Franck-Hertz sono tagliati in basso (d):

- Ridurre alternativamente prima la tensione frenante U_3 e poi il potenziale di controllo U_1 fino a quando si ottiene la forma della curva mostrata in (e).

La misura con il tubo di Franck-Hertz al Ne nell'esempio è stata fatta usando i parametri U_1 = 1,5 V e U_3 = 7,9 V.

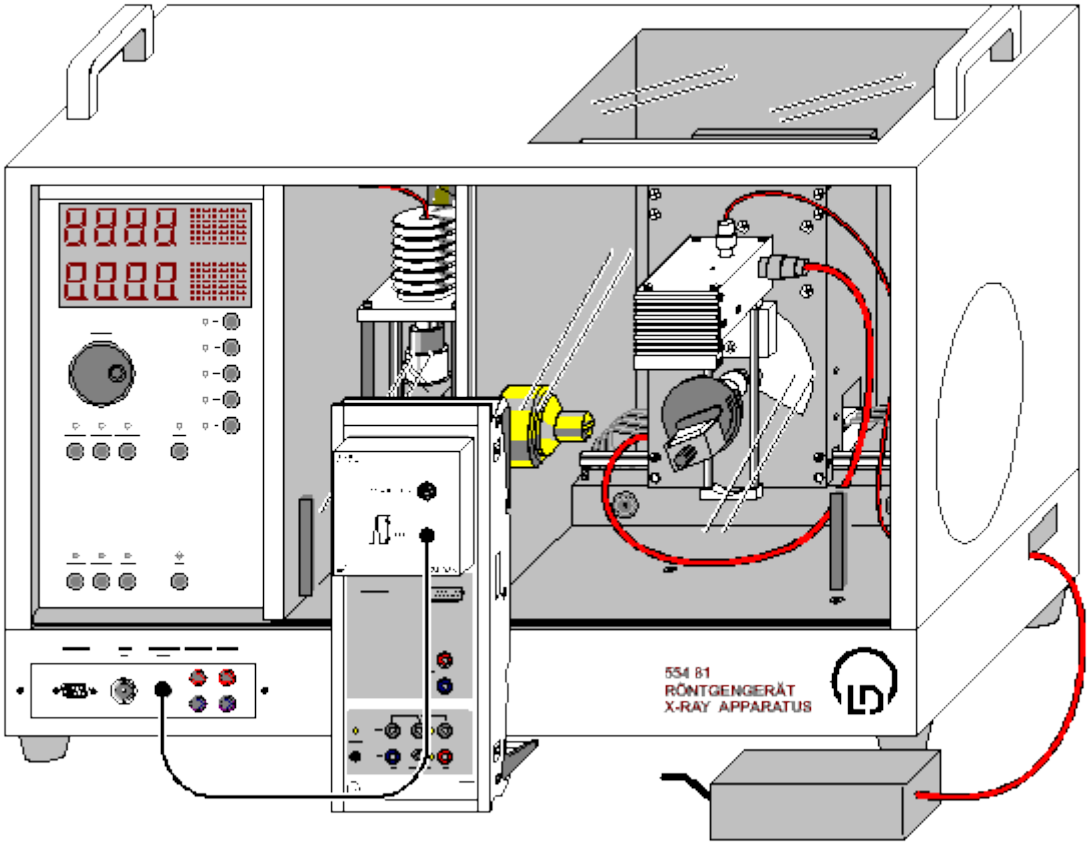
Valutazione

La curva registrata viene valutata tracciando le linee verticali per trovare mediamente la distanza fra massimi successivi. Nell'esempio, si trova un valore medio di U_2 = 18,2 V. Questo valore si avvicina maggiormente all'energia necessaria per eccitare i livelli dello strato 3p del neon (18,4-19,0 eV) e non all'energia dei livelli dello strato 3s (16,6–16,9 eV). Pertanto, la probabilità di eccitazione per effetto degli urti anelatici degli elettroni risulta notevolmente inferiore.

La zona inferiore della curva ottenuta sperimentalmente mostra che non si può ignorare completamente l'eccitazione dei livelli dello strato 3s. Si nota, infatti, che nel caso di più collisioni, si può verificare l'eccitazione a livello 3s ed a livello 3p.

Nel tubo di Franck-Hertz al Ne, si può osservare che le zone di luminanza dipendono dalla tensione di accelerazione. Queste sono direttamente correlate con i minimi della curva di Franck-Hertz.

Legge di Moseley (Righe K per fluorescenza di raggi X)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Note di sicurezza

L'apparecchio a raggi X risponde a tutte le disposizioni sulla struttura di un apparecchio a raggi X, è dispositivo completamente protetto per uso didattico ed è un modello approvato per l'uso scolastico in Germania (BfS 05/07 V/Sch RöV o NW 807 / 97 Rö).

Le protezioni e le schermature incorporate riducono il tasso di dose esterno all'apparecchio a raggi X a meno di 1 µSv/h, che è dell'ordine di grandezza della radiazione naturale di fondo.

- Prima di mettere in funzione l'apparecchio a raggi X, verificare eventuali danni e controllare che l'alimentazione sia spenta se le porte scorrevoli sono aperte (Vedere istruzioni per l'uso dell'apparecchio a raggi X).
- Proteggere l'apparecchio a raggi X dall'accesso di persone non autorizzate.

Evitare il surriscaldamento dell'anodo del tubo a raggi X.

- All'accensione dell'apparecchio a raggi X, verificare che il ventilatore della camera del tubo entri in rotazione.

Il goniometro viene posizionato solamente con i motori elettrici passo passo.

- Non bloccare il braccio del bersaglio e il braccio del sensore e non forzare il loro movimento.

Quando per bersaglio si utilizzano metalli pesanti o sostanze allergiche, osservare le istruzioni per il loro uso.

Descrizione dell'esperimento

La fluorescenza dei raggi X si verifica quando degli elettroni sono emessi da atomi bombardati con raggi X. L'atomo ionizzato in questo modo ha una lacuna (buco elettronico) a un livello più basso che

precedentemente era pieno. Queste lacune possono essere riempite con elettroni di altri livelli meno fortemente legati dell'atomo. p. es. il livello K può essere chiuso dalla transizione di un elettrone dal livello L. Tale transizione è collegata all'emissione di un fotone. Questa radiazione ha solamente un particolare fotone discreto di energia corrispondente alla differenza di energia dei livelli coinvolti, ed è caratteristica per ogni elemento chimico.

Le indicazioni delle righe caratteristiche dei raggi X sono una combinazione del simbolo del livello elettronico (K, L, M ecc.) e una lettera greca (α, β, γ, ecc.). Il livello elettronico attribuito è quello ionizzato prima della transizione elettronica. Per esempio, l'indicazione riga K_α descrive la transizione dal livello L al livello K, la riga K_β si riferisce alla transizione dal livello M al livello K. Le righe L_α e L_β si riferiscono alle transizioni dal livello M al livello N.

Per le energie E delle righe caratteristiche Moseley scoprì nel 1913 la seguente legge

$$\sqrt{\frac{E}{Ry}} = (Z - \sigma)\sqrt{\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)}$$

con il numero atomico Z, la costante di schermatura σ, la costante $Ry = m_e e^4/8\varepsilon_0^2 h^2 = 13{,}6$ eV e i numeri quantici principali n_1 e n_2 per i livelli elettronici coinvolti ($n_1 < n_2$).

Nell'esperimento, si determinano le energie delle righe K_α e K_β per Ti, Fe, Ni, Cu, Zn, Zr, Mo e Ag, si conferma la legge di Moseley e si determinano le costanti di schermatura σ_α e σ_β.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	MCA Box	524 058
1	Apparecchio a raggi X con tubo al Mo	554 801 o 554 811
1	Serie di bersagli per fluorescenza a righe K	554 844
1	Rivelatore energia dei raggi X	559 938
1	Cavo BNC, 1 m	501 02
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

- Guidare il cavo di collegamento per l'alimentatore da tavolo attraverso il canale vuoto dell'apparecchio a raggi X e collegarlo alla mini boccola del rilevatore di energia dei raggi X.
- Fissare il porta sensore con montato il rivelatore di energia dei raggi X sul braccio per sensore del goniometro.
- Collegare l'uscita del segnale del rivelatore dell'energia dei raggi X alla boccola BNC SIGNAL IN dell'apparecchio a raggi X mediante il cavo BNC incluso.
- Fornire abbastanza cavo di collegamento per rendere possibile il movimento complete del braccio del sensore
- Premere il pulsante SENSOR e regolare l'angolo del sensore con il regolatore rotante ADJUST manualmente a 90°
- Regolare le distanze fra l'apertura della fenditura del collimatore e l'asse di rotazione come quella fra l'asse di rotazione e la finestra del rivelatore dell'energia dei raggi X entrambe da 5 a 6 cm
- Premere il pulsante TARGET e regolare l'angolo del bersaglio manualmente usando il regolatore rotante ADJUST a 45°.
- Collegare il Sensor-CASSY al computer e collegare il box MCA
- Collegare l'uscita SIGNAL OUT del pannello di connessione dell'apparecchio a raggi X al box MCA mediante il cavo BNC.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Collegare l'alimentatore da tavolo alla rete (dopo circa 2 min il LED diventerà verde ed il rivelatore di energia dei raggi X sarà pronto per l'uso).
- Porre il bersaglio di titanio (Ti) dalla serie di bersagli per righe K di fluorescenza sul tavolo del bersaglio

- Regolare l'alta tensione del tubo U = 35 kV, la corrente di emissione i = 1,00 mA e accendere l'alta tensione.
- Avviare la misura con **F9**
- Quindi registrare gli spettri per altri bersagli (Fe, Ni, Cu, Zn, Zr, Mo e Ag) nella serie di bersagli per righe K di fluorescenza

Calibrazione dell'energia

La calibrazione dello spettro è fatta usando le righe K_α del ferro (Fe) e del molibdeno (Mo).

- Aprire nel menu del diagramma (pulsante destro del mouse) o selezionare con **Alt+E** la Calibrazione energia, selezionare **calibrazione energia globale** e inserire sul lato destro le energie della riga K_α del Fe (6,40 keV) e della riga K_α del Mo (17,48 keV). Non chiudere la finestra **Calibrazione energia**
- Nel menu del diagramma selezionare in altre valutazioni Calcola centro di picco, segnare la riga K_α del Fe (2° spettro) ed inserire il risultato nel lato sinistro della Calibrazione energia (p. es. con trascina & incolla dalla linea di stato)
- Quindi determinare il centro della riga K_α del Mo (7° spettro) ed inserire il risultato nel lato sinistro.
- Chiudere la finestra **Calibrazione energia**

Valutazione

Come aumenta il numero atomico Z aumenta anche l'energia delle righe caratteristiche e quindi si ha la separazione fra le componenti α e β nelle serie spettrali K. Per una analisi quantitativa possono essere determinate le energie delle singole righe.

- Selezionare uno spettro nel diagramma
- Nel menu del diagramma (pulsante sinistro del mouse) o con **Alt+V** scegliere Linee verticali e segnare approssimativamente le posizioni delle righe K_α e K_β.
- Nel menu del diagramma selezionare in alter valutazioni Gaussiana di uguale ampiezza e segnare l'area del picco desiderato (segnare anche un sufficiente fondo!)
- Leggere le posizioni di picco determinate dalla linea di stato ed inserirle assieme con i numeri atomici Z di Ti (Z=22), Fe (Z=26), Ni (Z=28), Cu (Z=29), Zn (Z=30), Zr (Z=40), Mo (Z=42) e Ag (Z=47) nel diagramma **Energia** (cliccare con il mouse) (p.es. con trascina & incolla dalla linea di stato)

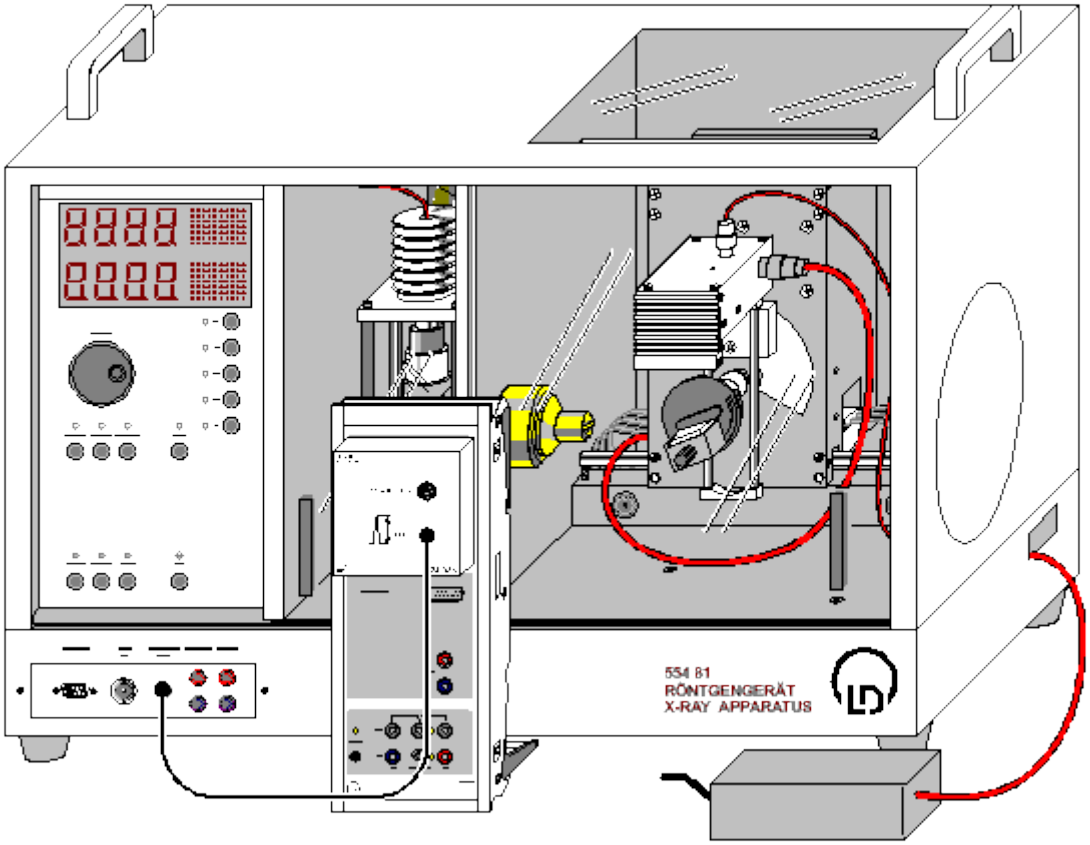
Per ogni riga, viene automaticamente calcolata l'espressione $\sqrt{E/Ry}$ e tracciata nel diagramma di **Moseley** in funzione del numero atomico Z. Lo stessa si applica alle costanti di schermatura σ_α e σ_β e al diagramma **Schermatura**.

Nel diagramma di **Moseley**, da un fit libero con la formula (x-1)*sqr(3/4), si può inserire la riga teorica per la riga K_α, che corrisponde bene ai valori misurati.

Il diagramma **Schermatura** mostra per la riga K_α che la deviazione dal valore teoricamente atteso σ_α=1 cresce con l'aumentare del numero atomico Z. Questo è spiegato dal fatto che l'influenza degli elettroni esterni aumenta con il diminuire del numero degli elettroni.

Le costanti di schermatura σ_β per le righe K_β hanno un valore $\sigma_\beta \approx 2$ che indica, come atteso, un forte schermo efficace della carica del nucleo per la transizione degli elettroni dal livello più alto n_2=3.

Legge di Moseley (Righe L per fluorescenza di raggi X)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Note di sicurezza

L'apparecchio a raggi X risponde a tutte le disposizioni sulla struttura di un apparecchio a raggi X, è dispositivo completamente protetto per uso didattico ed è un modello approvato per l'uso scolastico in Germania (BfS 05/07 V/Sch RöV o NW 807 / 97 Rö).

Le protezioni e le schermature incorporate riducono il tasso di dose esterno all'apparecchio a raggi X a meno di 1 µSv/h, che è dell'ordine di grandezza della radiazione naturale di fondo.

- Prima di mettere in funzione l'apparecchio a raggi X, verificare eventuali danni e controllare che l'alimentazione sia spenta se le porte scorrevoli sono aperte (Vedere istruzioni per l'uso dell'apparecchio a raggi X).
- Proteggere l'apparecchio a raggi X dall'accesso di persone non autorizzate.

Evitare il surriscaldamento dell'anodo del tubo a raggi X.

- All'accensione dell'apparecchio a raggi X, verificare che il ventilatore della camera del tubo entri in rotazione.

Il goniometro viene posizionato solamente con i motori elettrici passo passo.

- Non bloccare il braccio del bersaglio e il braccio del sensore e non forzare il loro movimento.

Quando per bersaglio si utilizzano metalli pesanti o sostanze allergiche, osservare le istruzioni per il loro uso.

Descrizione dell'esperimento

La fluorescenza dei raggi X si verifica quando degli elettroni sono emessi da atomi bombardati con raggi X. L'atomo ionizzato in questo modo ha una lacuna (buco elettronico) a un livello più basso che

precedentemente era pieno. Queste lacune possono essere riempite con elettroni di altri livelli meno fortemente legati dell'atomo. p. es. il livello K può essere chiuso dalla transizione di un elettrone dal livello L. Tale transizione è collegata all'emissione di un fotone. Questa radiazione ha solamente un particolare fotone discreto di energia corrispondente alla differenza di energia dei livelli coinvolti, ed è caratteristica per ogni elemento chimico.

Le indicazioni delle righe caratteristiche dei raggi X sono una combinazione del simbolo del livello elettronico (K, L, M ecc.) e una lettera greca (α, β, γ, ecc.). Il livello elettronico attribuito è quello ionizzato prima della transizione elettronica. Per esempio, l'indicazione riga K_α descrive la transizione dal livello L al livello K, la riga K_β si riferisce alla transizione dal livello M al livello K. Le righe L_α e L_β si riferiscono alle transizioni dal livello M al livello N.

Per le energie E delle righe caratteristiche Moseley scoprì nel 1913 la seguente legge

$$\sqrt{\frac{E}{Ry}} = (Z - \sigma)\sqrt{\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)}$$

con il numero atomico Z, la costante di schermatura σ, la costante $Ry = m_e e^4/8\varepsilon_0^2 h^2 = 13{,}6$ eV e i numeri quantici principali n_1 e n_2 per i livelli elettronici coinvolti ($n_1 < n_2$).

Nell'esperimento vengono determinate le energie delle righe L_α e L_β per Ag, In, Sn, W, Au e Pb, viene confermata la legge di Moseley e si determinano le costanti di schermatura σ_α e σ_β. La struttura fine delle righe, p.es. $L_{\alpha1}$ e $L_{\alpha2}$, non può essere risolta in questo esperimento. Perciò queste compaiono nello spettro come una riga singola (L_α).

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	MCA Box	524 058
1	Apparecchio a raggi X con tubo al Mo	554 801 o 554 811
1	Serie di bersagli per fluorescenza a righe L	554 846
1	Rivelatore energia dei raggi X	559 938
1	Cavo BNC, 1 m	501 02
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

- Guidare il cavo di collegamento per l'alimentatore da tavolo attraverso il canale vuoto dell'apparecchio a raggi X e collegarlo alla mini boccola del rilevatore di energia dei raggi X.
- Fissare il porta sensore con montato il rivelatore di energia dei raggi X sul braccio per sensore del goniometro.
- Collegare l'uscita del segnale del rivelatore dell'energia dei raggi X alla boccola BNC SIGNAL IN dell'apparecchio a raggi X mediante il cavo BNC incluso.
- Fornire abbastanza cavo di collegamento per rendere possibile il movimento complete del braccio del sensore
- Premere il pulsante SENSOR e regolare l'angolo del sensore con il regolatore rotante ADJUST manualmente a 90°
- Regolare le distanze fra l'apertura della fenditura del collimatore e l'asse di rotazione come quella fra l'asse di rotazione e la finestra del rivelatore dell'energia dei raggi X entrambe da 5 a 6 cm
- Premere il pulsante TARGET e regolare l'angolo del bersaglio manualmente usando il regolatore rotante ADJUST a 45°.
- Collegare il Sensor-CASSY al computer e collegare il box MCA
- Collegare l'uscita SIGNAL OUT del pannello di connessione dell'apparecchio a raggi X al box MCA mediante il cavo BNC.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Collegare l'alimentatore da tavolo alla rete (dopo circa 2 min il LED diventerà verde ed il rivelatore di energia dei raggi X sarà pronto per l'uso).

- Porre il bersaglio (Ag) dalla serie di bersagli per righe L di fluorescenza sul tavolo del bersaglio
- Regolare l'alta tensione del tubo U = 35 kV, la corrente di emissione I = 1,00 mA e accendere l'alta tensione.
- Avviare la misura con **F9**
- Quindi registrare gli spettri per altri bersagli (In, Sn, W, Au e Pb) nella serie di bersagli per righe L di fluorescenza

Calibrazione energia

La calibrazione dello spettro è fatta usando le righe L_α del tungsteno (W) e la riga del K_α dell'argento (Ag).

- Aprire nel menu del diagramma (pulsante destro del mouse) o selezionare con **Alt+E** la Calibrazione energia, selezionare **calibrazione energia globale** e inserire sul lato destro le energie della riga L_α del W (8,40 keV) e della riga K_α del Ag (22,17 keV). Non chiudere la finestra **Calibrazione energia**.
- Nel menu del diagramma selezionare in altre valutazioni Calcola centro di picco, segnare la riga L_α del W (4° spettro) ed inserire il risultato nel lato sinistro della Calibrazione energia (p. es. con trascina & incolla dalla linea di stato)
- Quindi determinare il centro della riga K_α del Ag (1° spettro) ed inserire il risultato nel lato sinistro.
- Chiudere la finestra **Calibrazione energia**

Valutazione

Come aumenta il numero atomico Z aumenta anche l'energia delle righe caratteristiche e quindi si ha la separazione fra le componenti α e β nelle serie spettrali L. Per gli elementi più pesanti, in aggiunta ai componenti L_α and L_β, si possono essere mostrate anche le componenti relativamente piccole L_l e L_γ con il rivelatore di energia dei raggi X. Per un'analisi quantitativa possono essere determinate le energie delle singole righe.

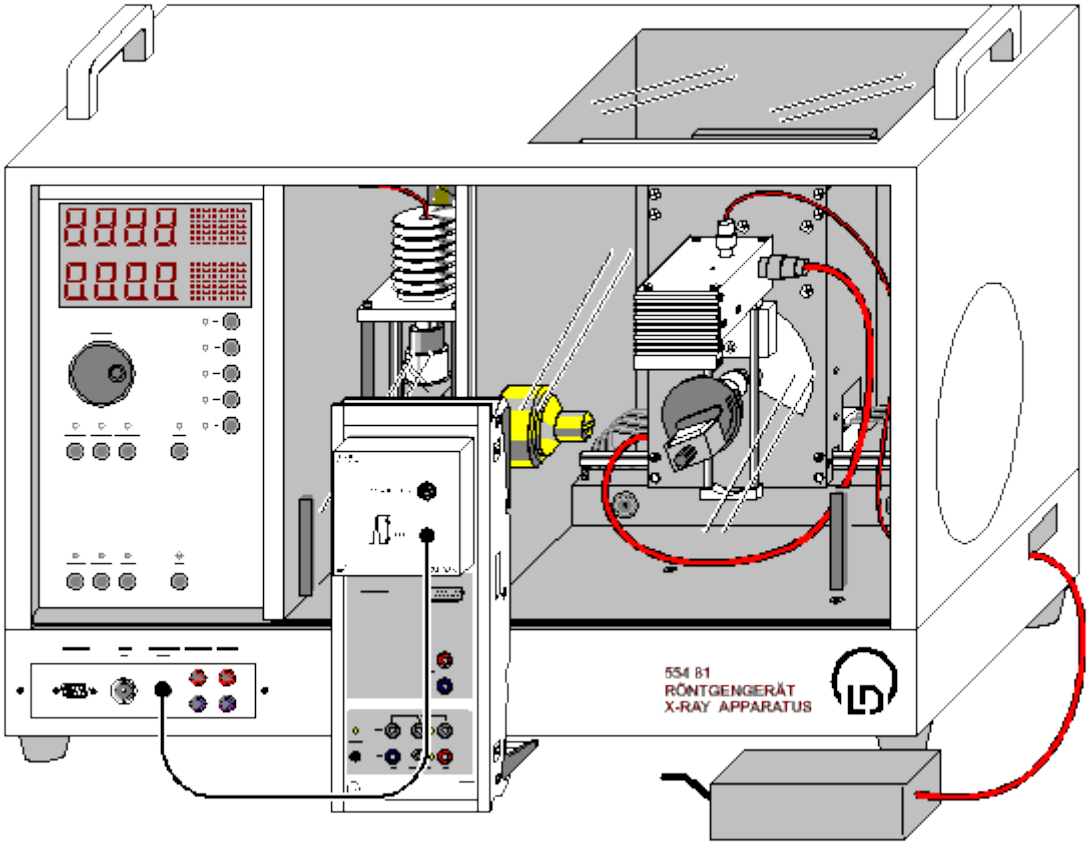
- Selezionare uno spettro nel diagramma
- Nel menu del diagramma (pulsante sinistro del mouse) o con **Alt+V** scegliere Linee verticali e segnare approssimativamente le posizioni delle righe L_α e L_β. Poiché per gli elementi argento, indio e stagno le righe L_α e L_β non sono risolte, saranno trattate nella valutazione come una singola linea.
- Nel menu del diagramma selezionare in alter valutazioni Gaussiana di uguale ampiezza e segnare l'area del picco desiderato (segnare anche un sufficiente fondo!)
- Leggere le posizioni di picco determinate dalla linea di stato ed inserirle assieme con i numeri atomici Z di Ag (Z=47), In (Z=49), Sn (Z=50), W (Z=74), Au (Z=79) e Pb (Z=82) nel diagramma **Energia** (cliccare con il mouse) (p.es. con trascina & incolla dalla linea di stato)

Per ogni riga, viene automaticamente calcolata l'espressione $\sqrt{E/Ry}$ e tracciata nel diagramma di **Moseley** in funzione del numero atomico Z. Lo stessa si applica alle costanti di schermatura σ_α e σ_β e al diagramma **Schermatura**.

Nel diagramma di **Moseley**, per mezzo di una Migliore linea retta per L_α e L_β, può essere confermata la legge di Moseley

Nel diagramma **Schermatura,** la dipendenza molto differente delle costanti di schermatura atomica per le righe L_α e L_β del numero atomico Z indica le differenze nella struttura dei sottolivelli nel livello M e nel livello L. E' ragguardevole che la costante di schermatura atomica per le righe L_α ha un valore di ≈ 7. Questo significa che la schermatura è data dai sette elettroni rimanenti nel livello L dopo la ionizzazione. Questo indica ancora che orbitali p e orbitali s (rispettivamente livello L o livello K) hanno una tale forma che i due elettroni nel livello K sono inefficaci per la schermatura nella transizione L_α.

Riflessione di Bragg dispersiva dell'energia in differenti ordini di diffrazione



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Note di sicurezza

L'apparecchio a raggi X risponde a tutte le disposizioni sulla struttura di un apparecchio a raggi X, è dispositivo completamente protetto per uso didattico ed è un modello approvato per l'uso scolastico in Germania (BfS 05/07 V/Sch RöV o NW 807 / 97 Rö).

Le protezioni e le schermature incorporate riducono il tasso di dose esterno all'apparecchio a raggi X a meno di 1 µSv/h, che è dell'ordine di grandezza della radiazione naturale di fondo.

- Prima di mettere in funzione l'apparecchio a raggi X, verificare eventuali danni e controllare che l'alimentazione sia spenta se le porte scorrevoli sono aperte (Vedere istruzioni per l'uso dell'apparecchio a raggi X).
- Proteggere l'apparecchio a raggi X dall'accesso di persone non autorizzate.

Evitare il surriscaldamento dell'anodo del tubo a raggi X.

- All'accensione dell'apparecchio a raggi X, verificare che il ventilatore della camera del tubo entri in rotazione.

Il goniometro viene posizionato solamente con i motori elettrici passo passo.

- Non bloccare il braccio del bersaglio e il braccio del sensore e non forzare il loro movimento.

Descrizione dell'esperimento

Secondo il modello descritto da W.H. e W.L. Bragg nel 1913, la regolare disposizione di atomi in un cristallo può essere interpretata in modo tale da essere disposti su reticoli piani paralleli.

Se raggi X paralleli colpiscono il cristallo questi sono elasticamente diffuse da ciascuno degli atomi. Se si applicano due condizioni, le onde diffuse dai singoli atomi interferiscono costruttivamente. Queste condizioni sono:

Angolo incidente α_1 = angolo diffratto $\alpha_2 = \alpha$

e

$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \alpha$ (condizione di Bragg)

dove d è la distanza fra i reticoli piani e n l'ordine di diffrazione che è un numero intero. L'angolo α è relative ai reticoli piani.

Quando si registra lo spettro mediante un rivelatore che risolve l'energia, non vengono registrate le energie ma le lunghezze d'onda. Per questo caso, la condizione di Bragg può essere riscritta con $E = h\nu = hc/\lambda$ come segue:

$E_n = nhc / 2d\sin\alpha$

o

$E_n/n = hc / 2d\sin\alpha \approx 620\ pm \cdot keV / d\sin\alpha$

Qui En è l'energia della radiazione X riflessa nell'ordine della diffrazione n. E' evidente che con un angolo fisso α l'energia più bassa E_1 si presenta nel primo ordine di diffrazione. Il rapporto dell'energia della radiazione nell'ordine di diffrazione n con l'energia della radiazione nel primo ordine E_n/E_1 corrisponde all'ordine di diffrazione. Il rapporto E_n/n è costante per ogni serie di piani di reticolo.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	MCA-Box	524 058
1	Apparecchio a raggi X con goniometro	554 801 o 554 811
1	Tubo al Cu per raggi X	554 862 o 554 85
1	Rivelatore di energia di raggi X	559 938
1	Cavo BNC, 1 m	501 02
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

- Se necessario cambiare il tubo al Mo per raggi X con il tubo al Cu per raggi X (vedere istruzioni per l'uso per l'apparecchio a raggi X).
- Guidare il cavo di collegamento per l'alimentatore da tavolo attraverso il canale vuoto dell'apparecchio a raggi X e collegarlo alla mini boccola del rilevatore di energia dei raggi X.
- Fissare il porta sensore con montato il rivelatore di energia dei raggi X sul braccio per sensore del goniometro.
- Collegare l'uscita del segnale del rivelatore dell'energia dei raggi X alla boccola BNC SIGNAL IN dell'apparecchio a raggi X mediante il cavo BNC incluso.
- Fornire abbastanza cavo di collegamento per rendere possibile il movimento completo del braccio del sensore
- Collegare il Sensor-CASSY al computer e collegare il box MCA
- Collegare l'uscita SIGNAL OUT del pannello di connessione dell'apparecchio a raggi X al box MCA mediante il cavo BNC.
- Regolare le distanze fra la fenditura del collimatore e l'asse di rotazione come fra l'asse di rotazione e la finestra del rivelatore di energia dei raggi X entrambi da 5 a 6 cm
- Mettere il cristallo NaCl fornito con l'apparecchio a raggi X sul tavolo del bersaglio e fermarlo delicatamente.
- Premere il pulsante COUPLED, e, usando la manopola ADJUST, regolare l'angolo del bersaglio di 4,5° manualmente.

Nota

Per l'esperimento, viene inserito il tubo al Cu per raggi X, perché, grazie alla finestra più sottile, la radiazione fornita copre un campo energetico più largo: approssimativamente da 5 a 35 keV alla tensione di 35 kV. Gli angoli del cristallo sono selezionati in modo che le radiazioni e non le righe caratte-

ristiche sono riflesse dal cristallo. Altrimenti l'intensità molto più larga delle righe caratteristiche possono falsificare considerevolmente il rapporto dell'intensità di vari ordini di diffrazione.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Collegare l'alimentatore da tavolo alla rete (dopo circa 2 min il LED diventerà verde ed il rivelatore di energia dei raggi X sarà pronto per l'uso).
- Regolare l'alta tensione del tubo U = 35 kV, la corrente di emissione I = 1,00 mA e accendere l'alta tensione.
- Registrare lo spettro di calibrazione (avviare la registrazione dello spettro con **F9**)
- Regolare la corrente di emissione a I = 0,40 mA
- Registrare gli spettri per gli angoli del bersaglio 5°, 10°, 15° e 20°

Calibrazione energia

Nella custodia a punta del fotodiodo al Si del rivelatore di energia dei raggi X, la radiazione dei raggi X produce una radiazione aggiuntiva per fluorescenza dei raggi X che viene anche registrata.Nello spettro primario, inoltre, in aggiunta ai picchi della radiazione riflessa, ci sono le righe giuste dell'oro (Au) e dell'Argento (Ag). Con l'aiuto di queste righe si può effettuare la calibrazione dell'energia degli spettri.

Attraverso la diffusione della riga K_α del Cu dello spettro primario del tubo a raggi X, sul lato sinistro compare un picco a E=8,1 keV. I successivi picchi più piccoli a E=9,7 keV, 11,4 keV e 22,2 keV sono stati causati dalla fluorescenza della custodia (Au L_α, L_β e Ag K_α) e il picco largo sul lato destro è la radiazione riflessa (condizione di Bragg).

- Selezionare lo spettro N_1 (4,5°)
- Aprire nel menu del diagramma (pulsante destro del mouse) o selezionare con **Alt+E** la Calibrazione energia, selezionare **calibrazione energia globale** e inserire sul lato destro le energie della riga L_α del Au (9,71 keV) e della riga K_α del Ag (22,16 keV). Non chiudere la finestra **Calibrazione energia**.
- Nel menu del diagramma selezionare in altre valutazioni Calcola centro di picco, segnare la riga L_α del Au ed inserire il risultato nel lato sinistro della Calibrazione energia (p. es. con trascina & incolla dalla linea di stato)
- Quindi determinare il centro della riga K_α del Ag ed inserire il risultato nel lato sinistro.
- Chiudere la finestra **Calibrazione energia**

Nota

Allo scopo di eccitare le righe K dell'argento nel materiale della custodia, l'energia della radiazione riflessa deve superare il bordo K dell'argento (25,52 keV). Per questa ragione la calibrazione dell'energia viene effettuata sullo spettro per α=4,5°.

Valutazione

Per confermare che i picchi rimanenti associate ai vari ordini di diffrazione appartengono allo stesso set di reticoli piani, devono essere analizzati le energie di picco.

Per la determinazione delle energie di picco in funzione dell'angolo di diffusione

- Selezionare lo spettro di energia (5°, 10°, 15° e 20°).
- Nel menu del diagramma selezionare in Altre valutazioni Calcola centro di picco e segnare il picco desiderato
- Leggere le posizioni del picco determinato dalla linea di stato e inserire come E_n=1, E_n=2, E_n=3 o E_n=4 con l'angolo α nel diagramma **Energia** (ciccare con il mouse) (p.es. con trascina & incolla dalla linea di stato)

Nel diagramma **Ordine** è formata una tabella in cui sono dati i rapporti E_n/E_1 dell'energia della radiazione nell'ordine di diffrazione n con l'energia della radiazione del primo ordine. Questi hanno valori approssimativamente interi che confermano l'assunto che appartengono a differenti ordini di diffrazione dalla stessa serie di piani del reticolo.

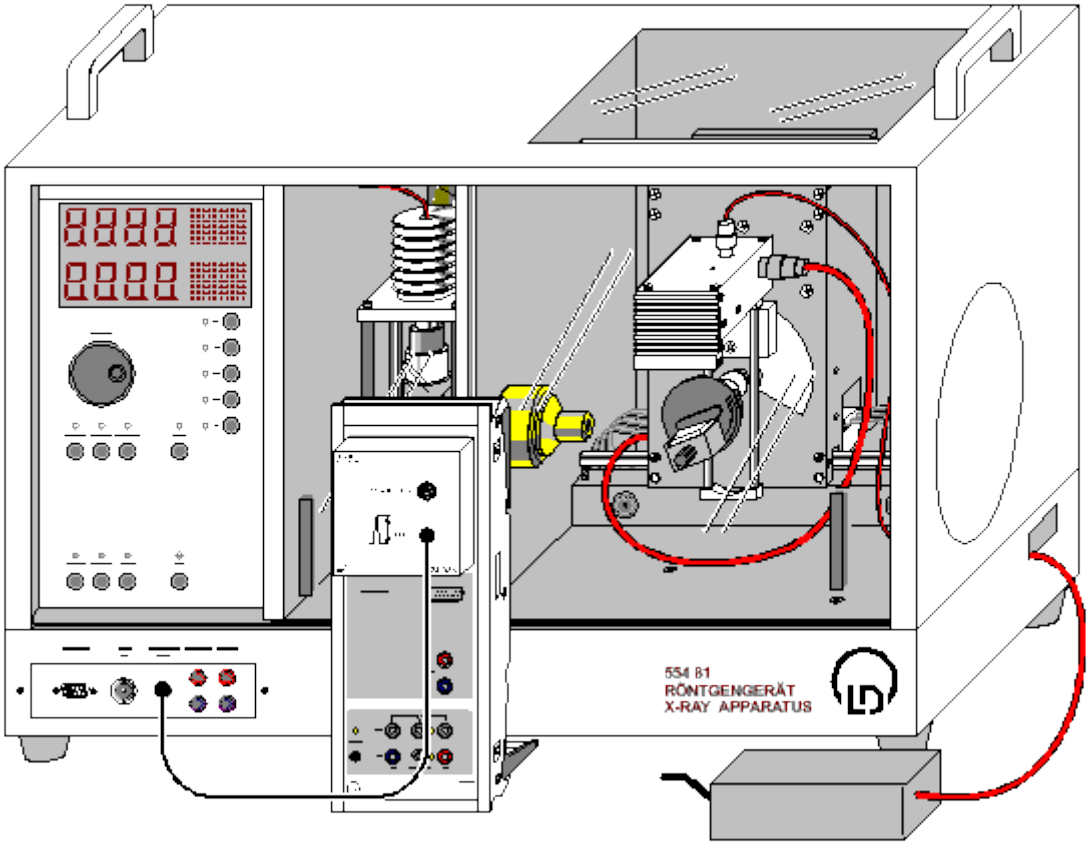
Nel diagramma **Spaziatura dei piani del reticolo** la spaziatura dei piani del reticolo d è stata calcolata per ogni angolo del cristallo dai valori determinati E_n/n. Diventa evidente che la diffrazione per tutti gli angoli è stata osservata dalla stessa serie di piani del reticolo con una spaziatura di d $\approx$ 280 pm.

Dal confronto con i dati della letteratura per NaCl (costante della griglia 564 pm) diventa evidente che questa la diffrazione dai (200) piani del reticolo (d = 282 pm).

Informazioni aggiuntive

Per uno spettro di Bragg registrato usando un contatore Geiger-Müller come rivelatore, i fotoni riflessi nei vari ordini di diffrazione sono contati assieme. Uno spettro registrato in questo modo è inoltre una combinazione di componenti diverse che non possono essere facilmente separate. Nel 20° spettro è particolarmente chiaro come non corretta sarebbe l'asserzione sull'intensità di radiazione se fosse preso in considerazione solo la diffrazione del primo ordine e ignorato l'esistenza della diffrazione di ordini superiori.

Effetto Compton nei raggi X



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Note di sicurezza

L'apparecchio a raggi X risponde a tutte le disposizioni sulla struttura di un apparecchio a raggi X, è dispositivo completamente protetto per uso didattico ed è un modello approvato per l'uso scolastico in Germania (BfS 05/07 V/Sch RöV o NW 807 / 97 Rö).

Le protezioni e le schermature incorporate riducono il tasso di dose esterno all'apparecchio a raggi X a meno di 1 µSv/h, che è dell'ordine di grandezza della radiazione naturale di fondo.

- Prima di mettere in funzione l'apparecchio a raggi X, verificare eventuali danni e controllare che l'alimentazione sia spenta se le porte scorrevoli sono aperte (Vedere istruzioni per l'uso dell'apparecchio a raggi X).
- Proteggere l'apparecchio a raggi X dall'accesso di persone non autorizzate.

Evitare il surriscaldamento dell'anodo del tubo a raggi X.

- All'accensione dell'apparecchio a raggi X, verificare che il ventilatore della camera del tubo entri in rotazione.

Il goniometro viene posizionato solamente con i motori elettrici passo passo.

- Non bloccare il braccio del bersaglio e il braccio del sensore e non forzare il loro movimento.

Descrizione dell'esperimento

Quando i raggi X attraversano la materia, parte di questi viene diffusa. Secondo la fisica classica, la frequenza della radiazione non cambierebbe con il processo di diffusione. Comunque, nel 1923 il fisico americano A. H. Compton osservò che la frequenza si riduce in alcuni dei raggi X diffusi.

Allo scopo di spiegare questo fenomeno, l'intero processo di diffusione è stato trattato in termini di fisica quantistica, e i raggi X devono essere considerati, per esempio, come particelle. Inoltre, si presume che l'elettrone diffuse è libero, che è una buona approssimazione per livelli elettronici esterni alle anergie nel campo dei raggi X. Così, in un processo di diffusione, un fotone con frequenza ν_1, cioè con l'energia $E_1 = h \cdot \nu_1$, urta un elettrone libero a riposo con massa di riposo m_0. Il fotone è diffuso con angolo ϑ.

Considerando la conservazione dell'energia e del momento, si calcola l'energia Compton E_2 dell'elettrone diffuse e si ottiene

$E_2 = E_1 / (1 + E_1/m_0 \cdot c^2 \cdot (1-\cos \vartheta))$.

In questo esperimento, indagini di Compton sono ripetuti su diversi corpi diffusi di plexiglass. i risultati vengono confrontati con l'equazione sopra. Lo spettro è registrato mediante il rivelatore di energia di raggi X.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box MCA	524 058
1	Apparecchio a raggi X con tubo al Mo	554 801 o 554 811
1	Accessori Compton per raggi X II	554 8371 o 554 837
1	Rivelatore di energia dei raggi X	559 938
1	Cavo BNC, 1 m	501 02
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

- Porre il filtro di Zr (fornito con l'apparecchio a raggi X) sul lato dell'entrata del collimatore circolare (contenuto nella fornitura degli accessori Compton per raggi X II)
- Montare il collimatore circolare sul supporto per collimatore dell'apparecchio a raggi X
- Guidare il cavo di collegamento per l'alimentatore da tavolo attraverso il canale vuoto dell'apparecchio a raggi X e collegarlo alla mini boccola del rilevatore di energia dei raggi X.
- Fissare il porta sensore con montato il rivelatore di energia dei raggi X sul braccio per sensore del goniometro.
- Collegare l'uscita del segnale del rivelatore dell'energia dei raggi X alla boccola BNC SIGNAL IN dell'apparecchio a raggi X mediante il cavo BNC incluso.
- Fornire abbastanza cavo di collegamento per rendere possibile una rotazione completa del braccio del sensore
- Premere il pulsante SENSOR e, usando la manopola ADJUST, regolare un angolo del sensore di 150° manualmente. Se necessario, spingere il goniometro a destra
- Regolare la distanza fra il rivelatore di energia dei raggi X e l'asse di rotazione in modo che la custodia del rivelatore copra appena il raggio X a questo angolo del sensore
- Quindi portare il goniometro a sinistra in modo che la custodia del rivelatore tocchi appena il collimatore circolare (circa 8 cm la distanza fra il collimatore circolare e l'asse di rotazione)
- Collegare il Sensor-CASSY al computer, e inserire il box MCA
- Usare un cavo BNC per collegare l'uscita SIGNAL OUT sul pannello terminale dell'apparecchio a raggi X al box MCA

Preparazione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Collegare l'alimentatore da tavolo alla rete (dopo circa 2 min il LED diventerà verde ed il rivelatore di energia dei raggi X sarà pronto per l'uso).

Per una misura accurata degli spostamenti di piccole energie, si deve prendere in considerazione che la calibrazione del rivelatore di energia dei raggi X subisce uno spostamento trascurabile a tassi di conteggio elevati. Perciò è ragionevole restringere i tassi di conteggio a 200 /s.

Per valutare il tasso di conteggio nel montaggio per la diffusione:

- Porre il corpo di diffusione in plexiglass sul tavolo per bersaglio, e fermarlo
- Premere il pulsante TARGET, e, usando la manopola ADJUST, regolare l'angolo del bersaglio manualmente a 20°

- Regolare l'alta tensione del tubo U = 35 kV e la corrente di emissione I = 1,00 mA, e accendere l'alta tensione
- Avviare la registrazione dello spettro con **F9**
- Varare l'angolo del sensore lentamente fra 150° e 30° leggendo ogni volta il tasso di conteggio totale sulla finestra di destra in CASSY Lab
- Ridurre la corrente di emissione se il tesso di conteggio totale supera in modo evidente 200 /s

Per regolare il tasso di conteggio del raggio primario:

- Rimuovere il porta bersaglio con il tavolo del bersaglio e mettere il sensore nella posizione 0°
- Mettere lo schermo di assorbimento sul collimatore circolare, e allinearlo attentamente (le viti dovrebbero puntare rispettivamente verso l'alto e verso il basso)
- Ridurre la corrente di emissione a 0,1 mA, e accendere l'alta tensione
- Avviare la registrazione dello spettro con **F9**
- In passi di 0,1° cercare l'angolo del sensore nel quale il tasso di conteggio totale è leggermente più grande dei tassi di conteggio totale misurati nel montaggio per la diffusione (se necessario, cambiare leggermente la corrente di emissione)

Se il tasso di conteggio non c'è o è piccolo:

- Controllare l'allineamento dello schermo di assorbimento (con le viti muovere verso il basso o verso l'alto, si può ruotare lo schermo di 180°)

Esecuzione dell'esperimento

I raggi X per essere misurati producono una fluorescenza aggiuntiva nella custodia del fotodiodo a spina Si del rivelatore di energia dei raggi X, che viene anche registrata. Perciò le righe L_α e L_β dell'Au sono da attendersi nello spettro primario oltre le righe K_α- e K_β del Mo. Con l'aiuto di queste righe, può essere effettuata la calibrazione dell'energia degli spettri.

- Carica settaggi
- Registrare lo spettro primario (posizione 0°) con **F9**
- Aprire poi la Calibrazione energia nel menu del diagramma (pulsante destro del mouse) o con **Alt+E**, selezionare **Calibrazione energia globale**, e inserire le energie della riga L_α (9,72 keV) dell'Au e la riga K_α (17,48 keV) del Mo sulla destra
- Selezionare Calcola centro di picco da **Altre valutazioni** nel menu del diagramma, segnare la riga L_α dell'Au (picco piccolo sul lato sinistro della riga L_β dell'Au, che è anche piccolo), e inserire il risultato nella Calibrazione energia sulla sinistra
- Determinare il centro di picco della riga K_α (picco alto) del Mo, e inserirlo sul lato sinistro
- Rimuovere lo schermo di assorbimento
- Montare il porta bersaglio con il tavolo per bersaglio sul goniometro
- Mettere il corpo di diffusione in plexiglass sul tavolo del bersaglio e fermarlo
- Regolare la corrente di emissione I = 1,00 mA (o la corrente di emissione determinate precedentemente per valutare il tasso di conteggio), e accendere l'alta tensione
- Regolare l'angolo del bersaglio a 20° e l'angolo del sensore a 30°
- Registrare un nuovo spettro (posizione 30°) con **F9**
- Quindi registrare altri spettri ad angoli del bersaglio costanti per angoli del sensore 60°, 90°, 120° e 150°

Valutazione

L'energia della radiazione diffusa diminuisce con l'aumentare dell'angolo di diffusione. L'intensità della radiazione diffusa ha il suo minimo a $\vartheta = 90°$.

Per altre valutazioni, fare lo zoom nell'area intorno al picco diffuso e selezionare Calcolare centro di picco da altre valutazioni per ogni picco spostato di energia. Partendo da un angolo diffuso di $\vartheta = 90°$, la risoluzione dell'energia del rivelatore è sufficiente per separare un picco non spostato (diffusione elastica di elettroni fortemente legati) e picchi spostati (diffusione anelastica di elettroni quasi liberi). Per la determinazione del centro di picco, solo la regione del picco con energia spostata verrebbe segnata.

Per ogni centro di picco, l'energia è inserita nel display **Valutazione** con il corrispondente angolo di diffusione. L'energia può essere presa dalla linea di stato nella tabella usando il mouse (trascina & incolla). L'angolo deve essere inserito nella tabella manualmente.

Per un confronto delle energie misurate con le energie calcolate dalla conservazione dell'energia e del momento, si può selezionare un fit libero dell'equazione

17,48/(1+17,48*(1-cos(x))/A)

nel display **Valutazione** con il valore iniziale A = 511 (=costante).

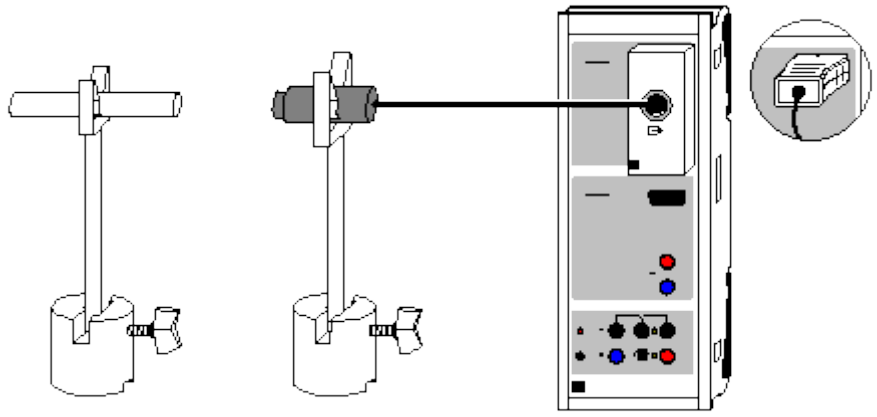
Il risultato corrisponde alla curva teorica con i parametri E_1 = 17,48 keV e $m_0 \cdot c^2$ = 511 keV, che in buon accordo con i valori misurati.

Quando i raggi X attraversano la materia, parte di loro viene diffusa e provoca uno spostamento di energia (effetto Compton). Lo spostamento di energia può essere calcolato descrivendo il processo di diffusione come un urto fra un fotone di raggi X ed un elettrone libero a riposo e richiedendo in questo processo la conservazione dell'energia e del momento.

Nota

In alternativa, il confronto fra misura e teoria può essere effettuata come un fit libero con il parametro A del fit (la massa a riposo dell'urto del fotone dei raggi X). Come risultato si ottiene un valore per il parametro A, che concorda, con buona approssimazione, con la "massa a riposo" di un elettrone ($m_0 \cdot c^2$ = 511 keV).

Distribuzione di Poisson



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Il numero x di particelle di un preparato radioattivo il cui decadimento è compreso nell'intervallo di tempo Δt non è costante. Eseguendo un numero elevato di misure, la probabilità H(x) che ciò avvenga si aggira attorno ad un valore medio μ. Confrontando tale probabilità con la distribuzione di Poisson, si trova che x varia attorno al valore medio μ secondo la distribuzione di Poisson.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	GM box	524 033
	con Tubo contatore a finestra	559 01
	o	
1	Tubo contatore Geiger-Müller S	524 0331
1	Serie di preparati radioattivi	559 83
1	Spinotto a molla grande	591 21
1	Spinotto a molla piccolo	590 02
2	Aste di connessione	532 16
2	Zoccoli	300 11
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Il tubo contatore a finestra è collegato all'ingresso A di Sensor-CASSY tramite GMW box. Maneggiare con cura i preparati e il tubo contatore.

Esecuzione dell'esperimento

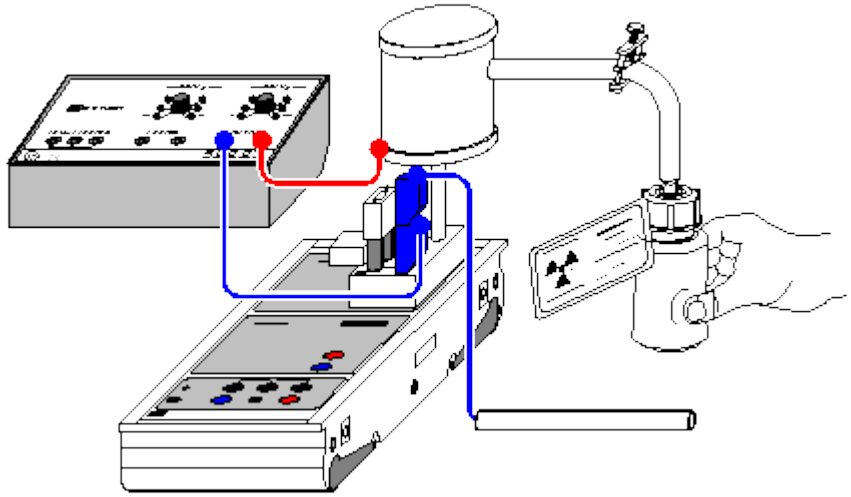
Carica settaggi

- Se necessario, modificare l'intervallo di tempo Δt (Settaggi RA1).
- Nel predisporre la misura, inserire come condizione il numero di misure in Parametri di Misura con **F5** (per es. **n < 1000** per eseguire 1000 misure).
- Iniziare la serie di misure con **F9**; eseguite tutte le misure, terminare sempre con **F9**.

Valutazione dei risultati

Si può confrontare l'andamento della probabilità ricavato dalle misure con la distribuzione di Poisson. Con valori medi μ elevati, la distribuzione di Poisson tende a seguire l'andamento della distribuzione di Gauss.

Tempo di dimezzamento del radon



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Poiché tutti i nuclei degli isotopi radioattivi hanno la stessa probabilità di decadimento, nell'intervallo di tempo dt il numero N dei nuclei radioattivi diminuisce secondo la legge

$dN = -\lambda \cdot N \cdot dt$

(λ: costante di decadimento). Quindi, per il numero N, è valida la legge di decadimento della radioattività:

$N(t) = N(t=0) \cdot e^{-\lambda \cdot t}$.

Questa legge stabilisce che dopo il tempo di dimezzamento

$t_{½} = \ln 2 / \lambda$

il numero dei nuclei radioattivi si è ridotto alla metà.

Per determinare il tempo di dimezzamento della vita del radon 220 (Rn-220), si chiude ermeticamente una bottiglia di plastica con ossido di torio all'interno di una camera di ionizzazione. Stringendo la bottiglia di plastica, si fa circolare all'interno della camera il gas inerte di radon che si forma durante la fase di decadimento della radioattività del torio naturale. Questo gas contiene l'isotopo Rn-220 il quale ha un tempo di dimezzamento di circa 55 s. Il tempo di dimezzamento degli altri isotopi del radon è molto diversa da questo valore, perciò si può tranquillamente ignorare.

In questo esperimento si misura, in funzione del tempo, la corrente di ionizzazione il cui valore è proporzionale alla radioattività del gas. Come amperometro ad elevata sensibilità, si utilizza il box elettrometrico con configurazione ad alta impedenza.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box Elettrometrico	524 054
1	Camera di ionizzazione	546 25
1	Recipiente con sale di torio	546 36
1	Alimentatore 450 V DC	522 27
1	Resistenza STE, 10 GΩ	577 03
1	Condensatore STE, 100 pF	578 22
2	Spinotti a morsetto	590 011
1	Spinotto di accoppiamento	340 89

2	Aste di connessione	532 16
1	Serie di ponticelli a spina	501 48
1	Cavo di collegamento, 50 cm, blu	500 422
1	Coppia di cavi, 1 m, rosso e blu	501 46
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Montare l'esperimento direttamente sul box elettrometrico collegato all'ingresso A. Installare la camera di ionizzazione sul morsetto superiore di destra del box tramite lo spinotto di accoppiamento e l'asta di connessione; saltare i due morsetti superiori di sinistra con un ponticello a spina, collegare la resistenza di misura di 10 GΩ ed il condensatore di livellamento di 100 pF al morsetto inferiore sinistro (fissare questi due componenti con gli spinotti a morsetto).

Poiché questa misura è molto sensibile ai disturbi esterni, per ridurne gli effetti, utilizzare il morsetto di massa del box elettrometrico come massa di tutto il circuito (durante l'esperimento si ricorre ad un'asta di connessione alla massa).

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Se necessario, per correggere l'offset tra box elettrometrico e massa dell'asta di connessione della camera di ionizzazione, selezionare **Corretto** in Settaggi UA1, inserire come primo valore 0 V e cliccare su **Offset Corretto**.
- Applicare una tensione di 450 V tra la massa del box elettrometrico e il cilindro della camera di ionizzazione.
- Stringere più volte la bottiglia con la sorgente di torio per caricare la camera di ionizzazione con radon 220.
- Dopo una breve attesa, avviare la misura con **F9** (la misura termina automaticamente dopo 180 s).

Valutazione dei risultati

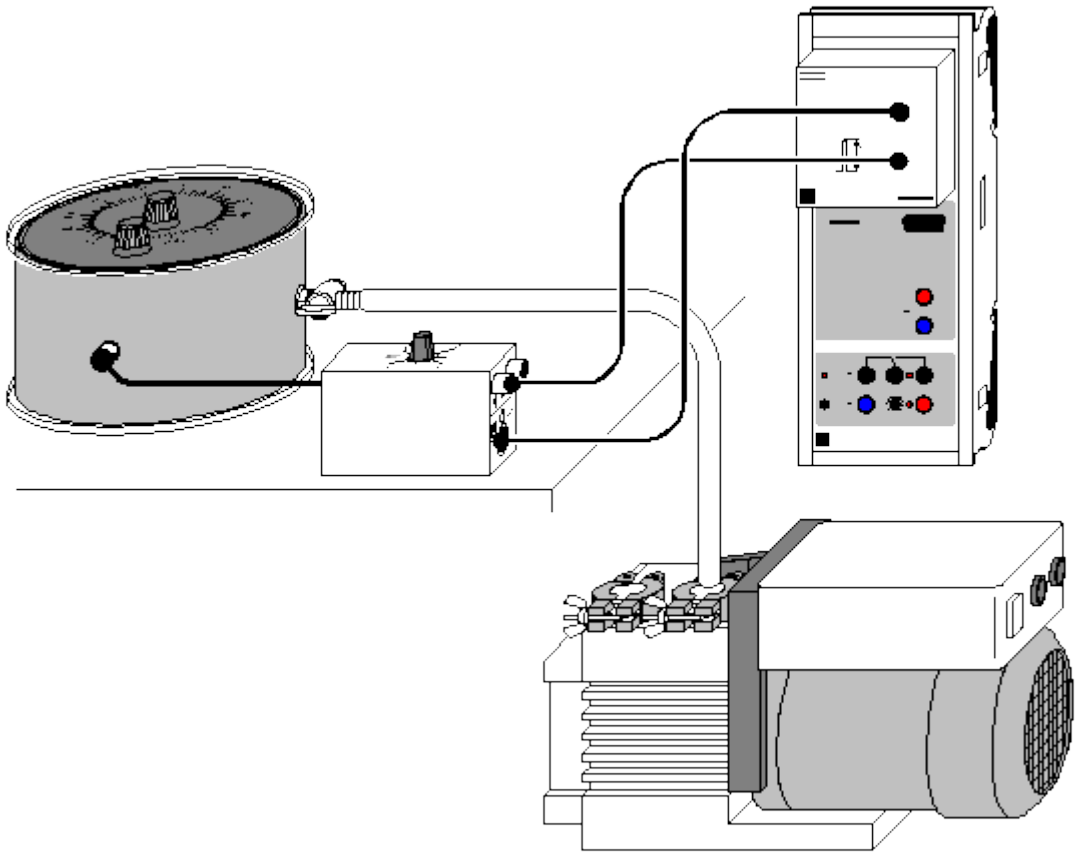
Il tempo di dimezzamento si può determinare in diversi modi, per esempio, si può determinare graficamente inserendo nel diagramma le linee orizzontali e verticali.

Interpolando la curva I(t) con la funzione esponenziale; in questo modo si ricava il parametro B che è l'inverso della costante di decadimento λ. Il tempo di dimezzamento risulta $t_{½} = \ln 2 \cdot B = 0{,}693 \cdot B$.

Interpolando il diagramma logaritmico con l'andamento lineare (si ottiene cliccando sull'asse y con il pulsante destro del mouse), si ricava il parametro A e quindi un tempo di dimezzamento $t_{½} = -\log 2/A = -0{,}301/A$.

Da questo esempio si ottiene il valore teorico $t_{½} = 55{,}6$ s.

Spettroscopia α di campioni radioattivi (Am-241)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Norme di sicurezza

Quando si adoperano i preparati di sostanze radioattive, bisogna rispettare le regole di sicurezza emanate dai vari paesi, per es. le Regole di Protezione dalle Radiazioni (StrlSchV) della Germania. Le sostanze radioattive usate in questo esperimento sono state approvate per scopi didattici secondo la normativa StrlSchV. Poiché tali sostanze generano una radiazione ionizzante, è opportuno rispettare le seguenti norme di sicurezza:

- Impedire l'accesso alle **persone non autorizzate**.
- Prima di eseguire una manutenzione verificare che sia tutto **intatto**.
- A scopo di **protezione**, conservare i preparati in contenitori a norma di sicurezza.
- Per garantire il **minore tempo di esposizione** e la **minima attività**, estrarre i preparati dai loro contenitori solo per il tempo necessario per eseguire l'esperimento.
- Per garantire la **massima distanza**, tenere il preparato solo dall'estremo superiore del sostegno metallico.

Descrizione dell'esperimento

Consiste nella registrazione dello spettro α del preparato Am-241 e nella calibrazione dell'energia mediante righe già note.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box MCA	524 058
1	Preparato di Am-241	559 82

1	Camera di diffusione di Rutherford	559 56
1	Discriminatore-preamplificatore	559 93
1	Cavo multipolare, 6-pole, 1,5 m	501 16
1	Cavo BNC, lunghezza 1 m	501 02
1	Cavo BNC, lunghezza 0,25 m	501 01
1	Pompa ruotante per il vuoto	378 73
1	Piccola flangia DN 16 KF con attacco	378 031
1	Tubo per vuoto, diametro 8/18	307 68
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

si raccomanda inoltre:

1	Oscilloscopio a due canali 303	575 211

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Collocare il preparato ed il rivelatore nella camera di diffusione di Rutherford. Collegare il rivelatore al discriminatore-preamplificatore con il cavo BNC più corto. Collegare il discriminatore-preamplificatore al box MCA. Collegare la pompa alla camera di diffusione di Rutherford.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Vuotare la camera di diffusione di Rutherford
- Avviare la misura con **F9**
- Variare il guadagno del box MCA in modo che lo spettro occupi completamente i canali disponibili. L'ordine di grandezza del guadagno è 5.
- Nelle misure eseguite con il rivelatore a semiconduttore, è presente un fastidioso disturbo di fondo che si può eliminare con un collegamento a massa. Nei 100 canali inferiori, la velocità di conteggio è abbastanza elevata, quindi risulta piuttosto difficile individuare una singola riga a causa della modesta risoluzione dello spettro. Per visualizzare il diagramma bisogna usare lo zoom. Tenuto conto dell'architettura interna del box MCA, in questo caso si consiglia di lavorare con un guadagno inferiore a 4,6.
- Dopo ogni variazione del guadagno, per evitare la sovrapposizione dei vari spettri, cancellare lo schermo con **F4**. Acquisito il risultato, si passa ad un'altra misura.
- Trascorso il tempo prestabilito, la misura si arresta.

Valutazione dei risultati

L'isotopo Am-241 decade in Np-237 con emissione di particelle α. Poiché il nettunio dispone di diversi stati di eccitazione, durante questo decadimento vengono emesse particelle α di diversa energia. In 100 decadimenti sono emesse 84 particelle α con una energia di 5486 keV e 13 particelle con una energia di 5443 keV. Però, in questo esperimento, non si riesce ad apprezzare una differenza di energia così piccola.

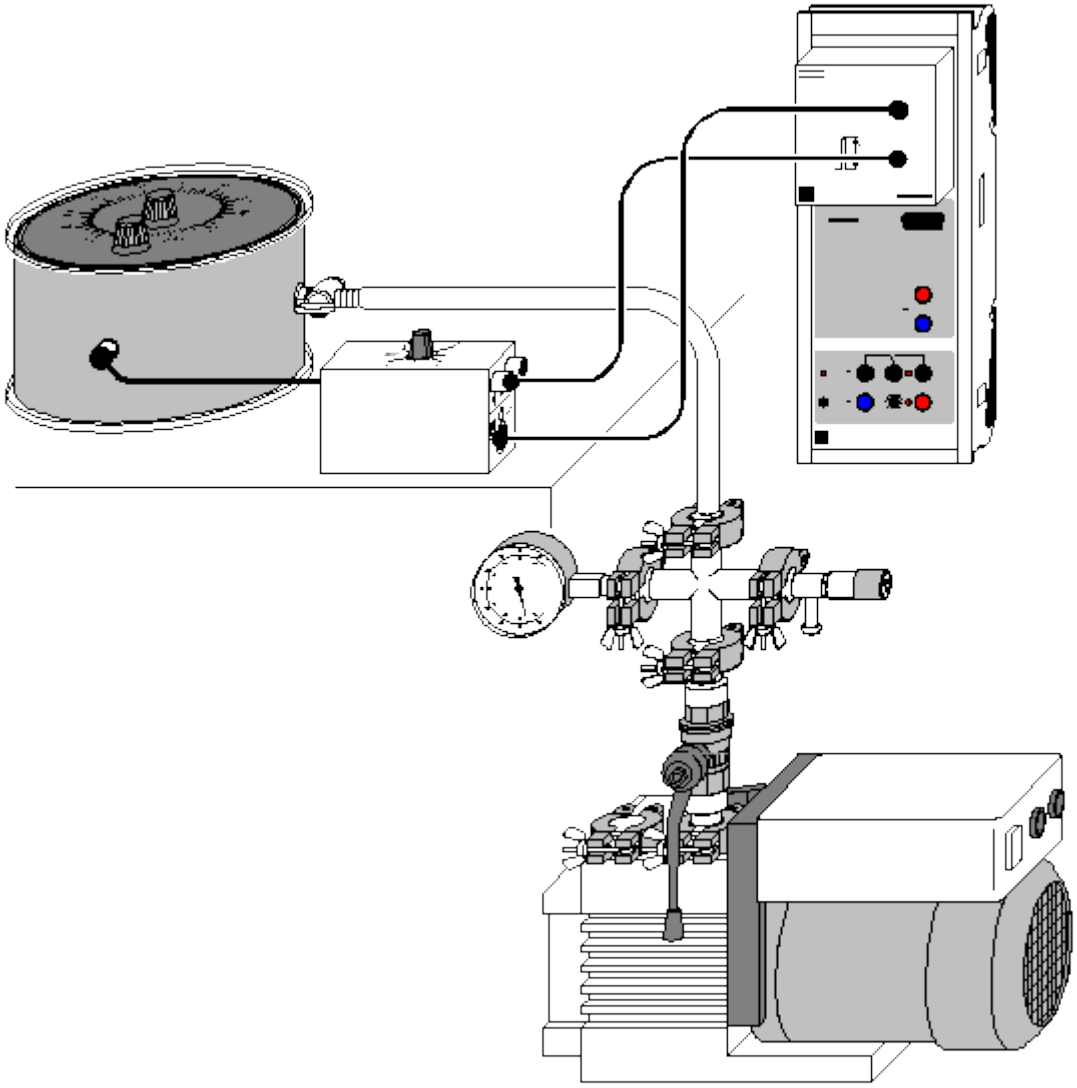
Dopo la misura, lo spettro non è ancora calibrato. Per ottenere lo spettro dell'energia, bisogna eseguire una calibrazione dell'energia.

Osservazioni

Il rivelatore a semiconduttore è sensibile alla luce. Per non alterare i risultati della misura, bisogna evitare l'illuminazione diretta della camera sotto vuoto.

A causa del rivestimento del preparato, si ha un elevato offset di energia; per questo motivo, lo spettro ricavato sperimentalmente inizia solo a partire da una energia di 1-2 MeV. Le particelle con energia più bassa vengono bloccate prima di raggiungere il rivelatore.

Determinazione della perdita di energia della radiazione α nell'aria



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Norme di sicurezza

Quando si adoperano i preparati di sostanze radioattive, bisogna rispettare le regole di sicurezza emanate dai vari paesi, per es. le Regole di Protezione dalle Radiazioni (StrlSchV) della Germania. Le sostanze radioattive usate in questo esperimento sono state approvate per scopi didattici secondo la normativa StrlSchV. Poiché tali sostanze generano una radiazione ionizzante, è opportuno rispettare le seguenti norme di sicurezza:

- Impedire l'accesso alle **persone non autorizzate**.
- Prima di eseguire una manutenzione verificare che sia tutto **intatto**.
- A scopo di **protezione**, conservare i preparati in contenitori a norma di sicurezza.
- Per garantire il **minore tempo di esposizione** e la **minima attività**, estrarre i preparati dai loro contenitori solo per il tempo necessario per eseguire l'esperimento.
- Per garantire la **massima distanza**, tenere il preparato solo dall'estremo superiore del sostegno metallico.

Descrizione dell'esperimento

Misura della perdita di energia della radiazione α emessa dai campioni di Am-241 al variare della pressione dell'aria nella camera di diffusione. Utilizzo di questi risultati per il calcolo delle perdite di energia a pressione atmosferica in funzione della distanza; si ottiene, così, il valore della radiazione α nell'aria.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box MCA	524 058
1	Preparato di Am-241	559 82
1	Camera di diffusione di Rutherford	559 56
1	Discriminatore-preamplificatore	559 93
1	Cavo multipolare, 6-pole, 1,5 m	501 16
1	Cavo BNC, lunghezza 1 m	501 02
1	Cavo BNC, lunghezza 0,25 m	501 01
1	Pompa ruotante per il vuoto	378 73
1	Piccola flangia DN 16 KF con attacco	378 031
1	Tubo per vuoto, diametro 8/18	307 68
1	Elemento a croce DN 16 KF	378 015
1	Valvola ad apertura variabile DN 16 KF	378 776
1	Manometro di Bourdon	378 510
4	Anelli di centraggio DN 16 KF	378 045
4	Anelli di fissaggio DN 10/16 KF	378 050
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Collocare il preparato ed il rivelatore nella camera di diffusione di Rutherford. Collegare il rivelatore al discriminatore-preamplificatore con il cavo BNC più corto. Collegare il discriminatore-preamplificatore al box MCA. Collegare la pompa alla camera di diffusione di Rutherford.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Dopo aver inserito il preparato ed il rivelatore, vuotare con cura la camera di diffusione di Rutherford.
- Stabilizzato il livello di vuoto, registrare lo spettro (**F9**) variando il guadagno in modo che la riga di Am-241 si trovi circa al centro dello spettro.
- Eseguire una calibrazione dell'energia, vedere osservazione.
- Aprire la valvola ad apertura variabile fino a raggiungere nella camera sotto vuoto una pressione di circa 300 mbar. Registrare un altro spettro.
- Aumentare la pressione nella camera sotto vuoto, inizialmente ad intervalli di circa 100 mbar; raggiunta una pressione di 800 mbar, procedere con aumenti più piccoli. Registrare lo spettro α che si ottiene in corrispondenza di ciascun valore di pressione (**F9**).

Valutazione dei risultati

Dai singoli spettri si ricava l'energia della riga α. La pressione dell'aria corrisponde alla lunghezza del percorso a pressione atmosferica. Dall'andamento dell'energia in funzione della lunghezza del percorso nell'aria, si ricava l'andamento della radiazione α nell'aria.

Osservazioni

L'andamento della radiazione nell'aria si può misurare direttamente anche senza usare la camera di diffusione; infatti è sufficiente variare la distanza. In questo caso, però, bisogna fare alcune modifiche. Il rivelatore deve essere collegato direttamente al discriminatore-preamplificatore, inoltre bisogna aumentare l'ampiezza degli impulsi applicati per l'assenza del carico capacitivo introdotto dal cavo BNC.

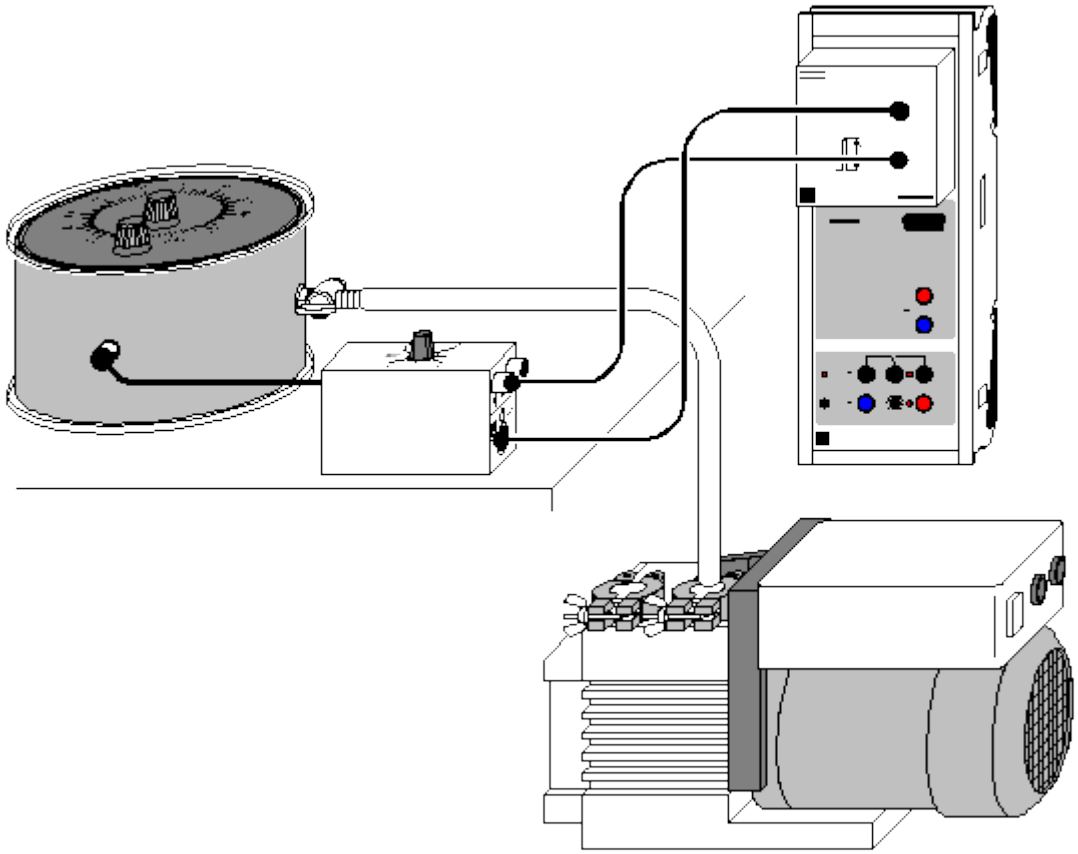
Il rivelatore a semiconduttore è sensibile alla luce. Per non alterare i risultati della misura, bisogna evitare l'illuminazione diretta della camera sotto vuoto.

Nelle misure eseguite con il rivelatore a semiconduttore, è presente un fastidioso disturbo di fondo che si può eliminare con un collegamento a massa. Nei 100 canali inferiori, la velocità di conteggio è ab-

bastanza elevata, quindi risulta piuttosto difficile individuare una singola riga a causa della modesta risoluzione dello spettro. Per visualizzare il diagramma bisogna usare lo zoom. Tenuto conto dell'architettura interna del box MCA, in questo caso si consiglia di lavorare con un guadagno inferiore a 4,6.

A causa del rivestimento del preparato, si verifica un elevato offset di energia; per questo motivo, lo spettro ricavato sperimentalmente inizia solo a partire da una energia di 1-2 MeV. Le particelle con energia più bassa vengono bloccate prima di raggiungere il rivelatore.

Determinazione della perdita di energia di una radiazione α nell'alluminio e nell'oro



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Norme di sicurezza

Quando si adoperano i preparati di sostanze radioattive, bisogna rispettare le regole di sicurezza emanate dai vari paesi, per es. le Regole di Protezione dalle Radiazioni (StrlSchV) della Germania. Le sostanze radioattive usate in questo esperimento sono state approvate per scopi didattici secondo la normativa StrlSchV. Poiché tali sostanze generano una radiazione ionizzante, è opportuno rispettare le seguenti norme di sicurezza:

- Impedire l'accesso alle **persone non autorizzate**.
- Prima di eseguire una manutenzione verificare che sia tutto **intatto**.
- A scopo di **protezione**, conservare i preparati in contenitori a norma di sicurezza.
- Per garantire il **minore tempo di esposizione** e la **minima attività**, estrarre i preparati dai loro contenitori solo per il tempo necessario per eseguire l'esperimento.
- Per garantire la **massima distanza**, tenere il preparato solo dall'estremo superiore del sostegno metallico.

Descrizione dell'esperimento

Determinazione della perdita di energia della radiazione α in una lamina di alluminio o di oro in funzione dell'energia α.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200

1	Box MCA	524 058
1	Preparato di Am-241	559 82
1	Preparato di Ra-226	559430
1	Camera di diffusione di Rutherford	559 56
1	Lamina di alluminio su montatura	559 52
1	Discriminatore-preamplificatore	559 93
1	Cavo multipolare, 6-pole, 1,5 m	501 16
1	Cavo BNC, lunghezza 1 m	501 02
1	Cavo BNC, lunghezza 0,25 m	501 01
1	Pompa ruotante per il vuoto	378 73
1	Piccola flangia DN 16 KF con attacco	378 031
1	Tubo per vuoto, diametro 8/18	307 68
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Collocare il preparato, la lamina ed il rivelatore nella camera di diffusione di Rutherford. Collegare il rivelatore al discriminatore-preamplificatore con il cavo BNC più corto. Collegare il discriminatore-preamplificatore al box MCA. Collegare la pompa alla camera di diffusione di Rutherford.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Inserire il preparato di Ra-226 nella camera di diffusione
- Fare il vuoto nella camera
- Togliere la lamina d'oro (spessore 2 μm) dal percorso della radiazione, registrare lo spettro (**F9**) e variare il guadagno in modo da ottenere una buona visualizzazione dello spettro
- Utilizzare le righe esterne dello spettro (4785 keV, 7687 keV) per la calibrazione dell'energia
- Inserire la lamina d'oro nel percorso della radiazione e registrare lo spettro (**F9**)
- Introdurre aria nella camera, inserire la lamina di alluminio (spessore 8 μm), fare di nuovo il vuoto nella camera e registrare lo spettro
- Introdurre aria nella camera, inserire il preparato di Am-241 e ripetere le misure con le lamine d'oro e d'alluminio senza cambiare la calibrazione dell'energia

Valutazione dei risultati

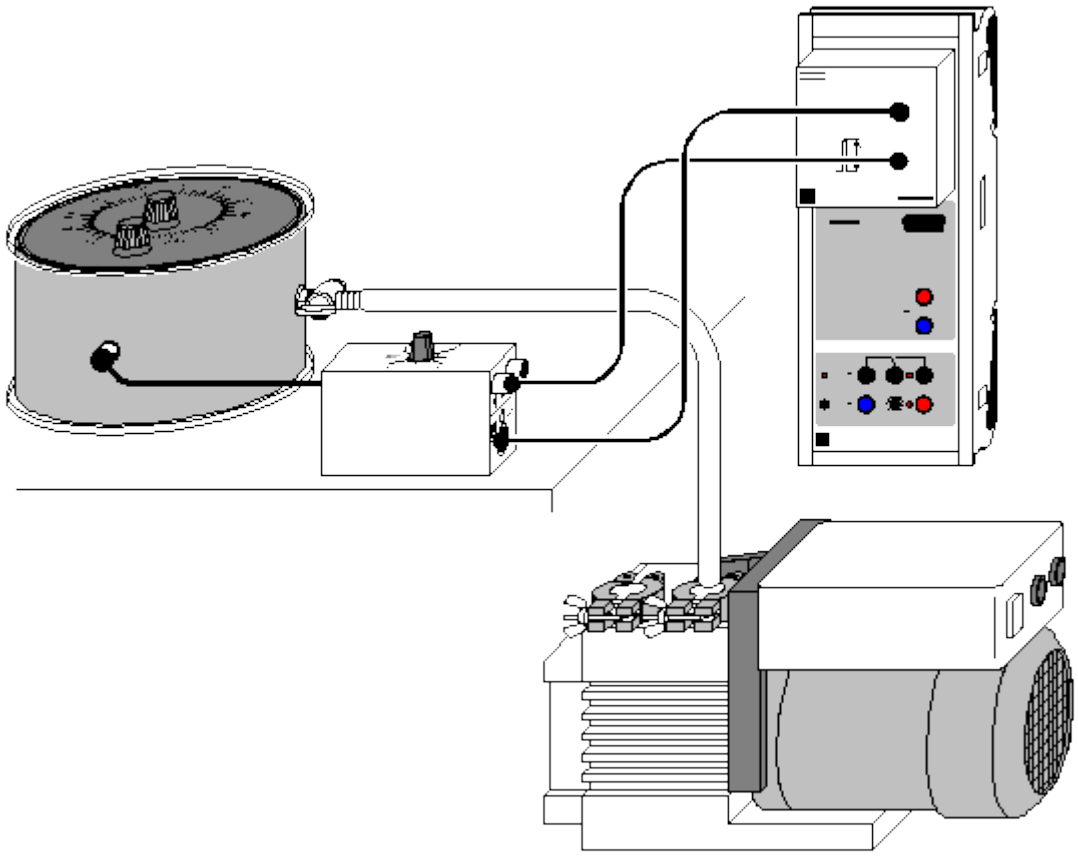
Da ciascuno spettro si ricava l'energia delle righe. Quindi, si può tracciare l'andamento delle perdite di energia nel passaggio attraverso l'oro e l'alluminio al variare del livello energetico e fare il confronto con i risultati che si ottengono con la formula di Bethe-Bloch.

Osservazioni

Il rivelatore a semiconduttore è sensibile alla luce. Per non alterare i risultati della misura, bisogna evitare l'illuminazione diretta della camera sotto vuoto.

A causa del rivestimento del preparato, si verifica un elevato offset di energia; quindi, per la calibrazione dello spettro, si utilizzano i valori teorici. La misura dello spettro è possibile solo a partire da una energia di 1-2 MeV. Le particelle con energia più bassa vengono bloccate prima di raggiungere il rivelatore.

Determinazione dell'età di un campione di Ra-226



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Norme di sicurezza

Quando si adoperano i preparati di sostanze radioattive, bisogna rispettare le regole di sicurezza emanate dai vari paesi, per es. le Regole di Protezione dalle Radiazioni (StrlSchV) della Germania. Le sostanze radioattive usate in questo esperimento sono state approvate per scopi didattici secondo la normativa StrlSchV. Poiché tali sostanze generano una radiazione ionizzante, è opportuno rispettare le seguenti norme di sicurezza:

- Impedire l'accesso alle **persone non autorizzate**.
- Prima di eseguire una manutenzione verificare che sia tutto **intatto**.
- A scopo di **protezione**, conservare i preparati in contenitori a norma di sicurezza.
- Per garantire il **minore tempo di esposizione** e la **minima attività**, estrarre i preparati dai loro contenitori solo per il tempo necessario per eseguire l'esperimento.
- Per garantire la **massima distanza**, tenere il preparato solo dall'estremo superiore del sostegno metallico.

Descrizione dell'esperimento

Determinazione dell'attività relativa dei nuclei Ra-226 e Pb-210 in un campione di Ra-226 e determinazione dell'età di questo campione.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box MCA	524 058
1	Preparato di Ra-226	559 430

1	Camera di diffusione di Rutherford	559 56
1	Discriminatore-preamplificatore	559 93
1	Cavo multipolare, 6-pole, 1,5 m	501 16
1	Cavo BNC, lunghezza 1 m	501 02
1	Cavo BNC, lunghezza 0,25 m	501 01
1	Pompa ruotante per il vuoto	378 73
1	Piccola flangia DN 16 KF con attacco	378 031
1	Tubo per vuoto, diametro 8/18	307 68
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Collocare il preparato ed il rivelatore nella camera di diffusione di Rutherford. Collegare il rivelatore al discriminatore-preamplificatore con il cavo BNC più corto. Collegare il discriminatore-preamplificatore al box MCA. Collegare la pompa alla camera di diffusione di Rutherford.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Inserire il preparato di Ra-226 nella camera di diffusione
- Fare il vuoto nella camera e registrare lo spettro (**F9**)
- Variare il guadagno del box MCA in modo che lo spettro occupi completamente i canali disponibili. L'ordine di grandezza del guadagno è 5.
- Per la calibrazione dell'energia, utilizzare le righe esterne dello spettro (4785 keV, 7687 keV)

Valutazione dei risultati

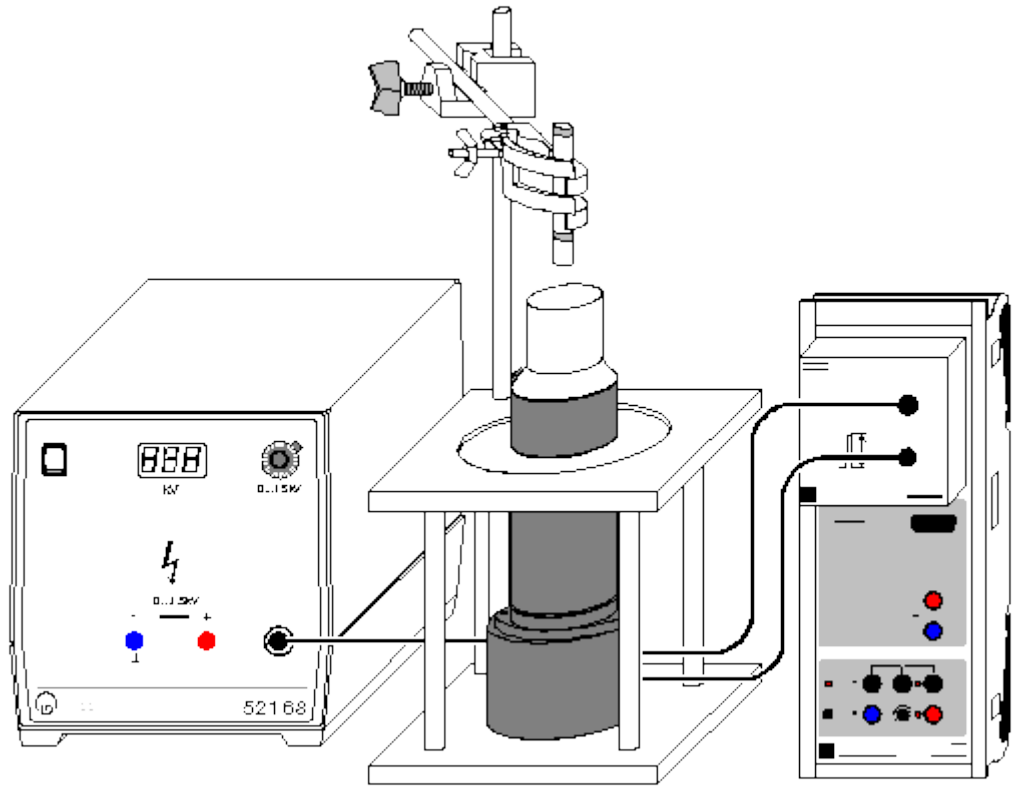
L'età del preparato si calcola in base alla velocità di conteggio delle righe. La valutazione è complicata dal fatto che le energie α del Po-210 e del Ra-222 sono molto vicine tra di loro per cui il loro contributo da luogo ad un unico picco (che si trova al centro di un gruppo di tre picchi). Quindi, nel Rn-222 la velocità di conteggio si determina per interpolazione lineare delle velocità di conteggio nel Ra-226, Po-218 e Po-214. L'età del preparato si calcola facendo il rapporto tra le velocità del conteggio nel Po-210 e nel Ra-226.

Osservazioni

Il rivelatore a semiconduttore è sensibile alla luce. Per non alterare i risultati della misura, bisogna evitare l'illuminazione diretta della camera sotto vuoto.

A causa del rivestimento del preparato, si verifica un elevato offset di energia; quindi, per la calibrazione dello spettro, si utilizzano i valori teorici. La misura dello spettro è possibile solo a partire da una energia di 1-2 MeV. Le particelle con energia più bassa vengono bloccate prima di raggiungere il rivelatore.

Rivelazione della radiazione γ con un contatore a scintillazione (Cs-137)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Norme di sicurezza

Quando si adoperano i preparati di sostanze radioattive, bisogna rispettare le regole di sicurezza emanate dai vari paesi, per es. le Regole di Protezione dalle Radiazioni (StrlSchV) della Germania. Le sostanze radioattive usate in questo esperimento sono state approvate per scopi didattici secondo la normativa StrlSchV. Poiché tali sostanze generano una radiazione ionizzante, è opportuno rispettare le seguenti norme di sicurezza:

- Impedire l'accesso alle **persone non autorizzate**.
- Prima di eseguire una manutenzione verificare che sia tutto **intatto**.
- A scopo di **protezione**, conservare i preparati in contenitori a norma di sicurezza.
- Per garantire il **minore tempo di esposizione** e la **minima attività**, estrarre i preparati dai loro contenitori solo per il tempo necessario per eseguire l'esperimento.
- Per garantire la **massima distanza**, tenere il preparato solo dall'estremo superiore del sostegno metallico.

Descrizione dell'esperimento

Consiste nella registrazione dello spettro γ di un miscuglio di preparati radioattivi (Cs-137, Am-241, Sr-90) e nella calibrazione dell'energia mediante righe già note.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box MCA	524 058
1	Miscuglio di preparati α, β, γ	559 84 oppure da 559 83
1	Contatore a scintillazione	559 901
1	Stadio rivelatore	559 912

1	Alimentatore ad alta tensione 1,5 kV	521 68
1	Attacco per schermo scintillatore	559 891
1	Asta di sostegno, 47 cm	300 42
1	Morsetto Leybold	301 01
1	Pinza universale, diam. 0...80 mm	666 555
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

si raccomanda inoltre:

1	Oscilloscopio a due canali 303	575 211

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Collegare lo stadio d'uscita del contatore a scintillazione al box MCA ed all'alimentatore ad alta tensione. Collocare il preparato pochi centimetri sopra il rivelatore utilizzando l'apposito sostegno. Per non far traballare il contatore a scintillazione, si consiglia di bloccarlo con l'attacco (559 891) il quale è anche predisposto per il fissaggio dell'asta di sostegno.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Azzerare l'alimentatore ad alta tensione e tenere chiuso il suo interruttore.
- Avviare la misura con **F9**
- Senza l'alta tensione, il contatore a scintillazione non conta nessun impulso.
- Aumentare lentamente l'alta tensione fino 700-900 V in modo che lo spettro occupi i canali disponibili.
- Dopo ogni variazione di tensione, per evitare la sovrapposizione dei vari spettri, cancellare lo schermo con **F4**. Acquisito il risultato, si inizia un'altra misura.
- Trascorso il tempo prestabilito, la misura si arresta.

Valutazione dei risultati

I due isotopi Cs-137 ed Am-241 del preparato emettono una radiazione γ che viene registrata dal contatore a scintillazione. Am-241 emette una riga a 59,5 keV mentre il Cs-137 emette una riga a 662 keV. Lo spettro ottenuto dalla misura presenta maggiori particolari all'interno di queste due righe. La loro presenza sia nel preparato che nel rivelatore è dovuta all'effetto Compton.

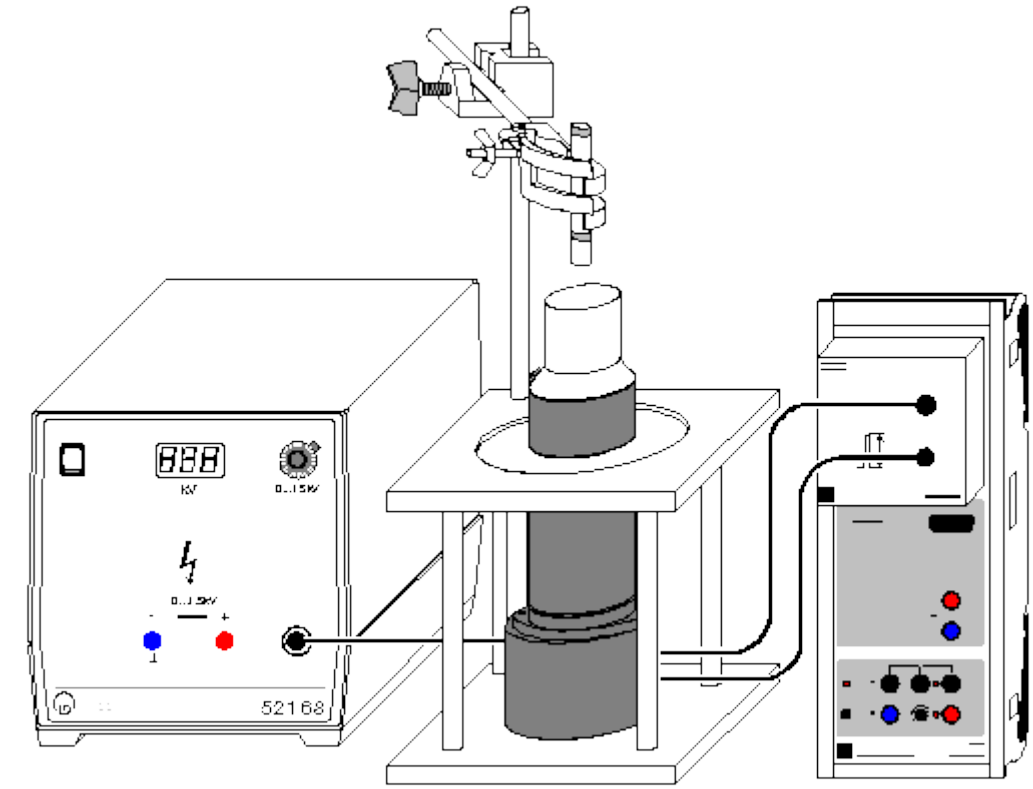
Dopo la misura, lo spettro non è ancora calibrato. Per ottenere lo spettro dell'energia, bisogna eseguire una calibrazione dell'energia. Per la calibrazione, si utilizzano le due righe dello spettro già note (59,5 e 662 keV).

Osservazioni

Per eseguire la misura, non bisogna mettere il preparato direttamente sopra il rivelatore, ma ad una distanza di qualche centimetro. Se il preparato si trova a ridosso del rivelatore, il conteggio avviene così rapidamente da provocare una sovrapposizione dei singoli impulsi. La sovrapposizione con il residuo degli impulsi precedenti provoca uno spostamento delle righe verso livelli energetici più alti.

Il cristallo di NaI(Tl) che si trova alla fine del contatore a scintillazione è molto sensibile alle sollecitazioni meccaniche e si può rompere facilmente. Il cristallo di NaI(Tl) è anche sensibile ai bruschi sbalzi di temperatura i quali, ad esempio, possono danneggiare il contenitore durante il trasporto. In entrambi i casi, si possono verificare delle incrinature nel cristallo che ne riducono la sensibilità e, soprattutto, possono peggiorare la risoluzione energetica a causa della dispersione.

Registrazione e calibrazione di uno spettro γ



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Norme di sicurezza

Quando si adoperano i preparati di sostanze radioattive, bisogna rispettare le regole di sicurezza emanate dai vari paesi, per es. le Regole di Protezione dalle Radiazioni (StrlSchV) della Germania. Le sostanze radioattive usate in questo esperimento sono state approvate per scopi didattici secondo la normativa StrlSchV. Poiché tali sostanze generano una radiazione ionizzante, è opportuno rispettare le seguenti norme di sicurezza:

- Impedire l'accesso alle **persone non autorizzate**.
- Prima di eseguire una manutenzione verificare che sia tutto **intatto**.
- A scopo di **protezione**, conservare i preparati in contenitori a norma di sicurezza.
- Per garantire il **minore tempo di esposizione** e la **minima attività**, estrarre i preparati dai loro contenitori solo per il tempo necessario per eseguire l'esperimento.
- Per garantire la **massima distanza**, tenere il preparato solo dall'estremo superiore del sostegno metallico.

Descrizione dell'esperimento

Consiste nella misura dello spettro γ di alcuni preparati (Cs-137, Co-60, Na-22). Dopo una calibrazione di energia del contatore a scintillazione, si passa ad identificare il passaggio dei raggi γ con l'aiuto dei valori teorici.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box MCA	524 058
1	Serie di 5 preparati radioattivi	559 83
1	Contatore a scintillazione	559 901

1	Stadio rivelatore	559 912
1	Alimentatore ad alta tensione 1,5 kV	521 68
1	Attacco per schermo scintillatore	559 891
1	Asta di sostegno, 47 cm	300 42
1	Morsetto Leybold	301 01
1	Pinza universale, diam. 0...80 mm	666 555
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Lo stadio d'uscita del contatore a scintillazione è collegato al box MCA e all'alimentatore di alta tensione. Il preparato da analizzare va posto pochi centimetri sopra il contatore a scintillazione mediante l'apposito sostegno. Per non far traballare il contatore a scintillazione, si consiglia di bloccarlo con l'attacco (559 891).

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Registrare nell'ordine lo spettro del Co-60, del Na-22 e del Cs-137 (**F9**). Si raccomanda di cominciare con il preparato Co-60; infatti, poiché l'energia della radiazione che esso emette è molto alta, prima di tutto bisogna regolare opportunamente il valore dell'alta tensione e del guadagno.
- Per ottenere lo spettro dell'energia, è necessario eseguire la calibrazione utilizzando, ad esempio, le righe del Na-22 a 511 keV e 1275 keV.

Valutazione dei risultati

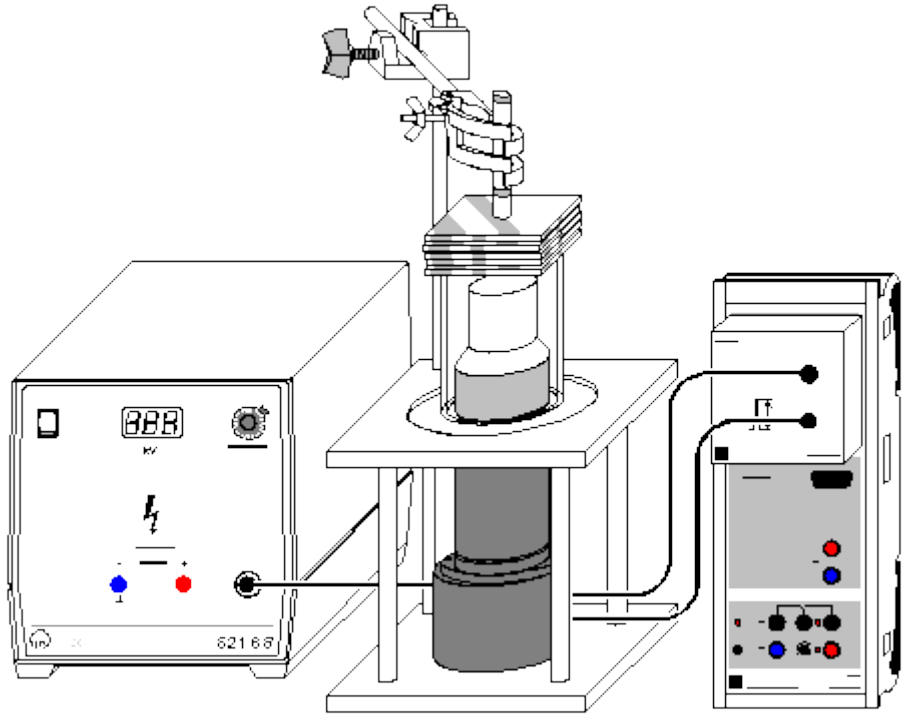
Si possono determinare le energie delle singole righe utilizzando la curva d'interpolazione gaussiana. Gli isotopi della radiazione si identificano per confronto con i valori teorici.

Osservazioni

In Internet, ad esempio in http://nucleardata.nuclear.lu.se/nucleardata/toi/, si possono trovare i database con l'elenco delle energie di tutte le sostanze radioattive. Con questi dati si possono identificare i nuclidi radioattivi.

Per eseguire la misura, non bisogna mettere il preparato direttamente sopra il rivelatore, ma ad una distanza di qualche centimetro. Se il preparato si trova a ridosso del rivelatore, il conteggio avviene così rapidamente da provocare una sovrapposizione dei singoli impulsi. La sovrapposizione con il residuo degli impulsi precedenti provoca uno spostamento delle righe verso livelli energetici più alti.

Assorbimento della radiazione γ



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Norme di sicurezza

Quando si adoperano i preparati di sostanze radioattive, bisogna rispettare le regole di sicurezza emanate dai vari paesi, per es. le Regole di Protezione dalle Radiazioni (StrlSchV) della Germania. Le sostanze radioattive usate in questo esperimento sono state approvate per scopi didattici secondo la normativa StrlSchV. Poiché tali sostanze generano una radiazione ionizzante, è opportuno rispettare le seguenti norme di sicurezza:

- Impedire l'accesso alle **persone non autorizzate**.
- Prima di eseguire una manutenzione verificare che sia tutto **intatto**.
- A scopo di **protezione**, conservare i preparati in contenitori a norma di sicurezza.
- Per garantire il **minore tempo di esposizione** e la **minima attività**, estrarre i preparati dai loro contenitori solo per il tempo necessario per eseguire l'esperimento.
- Per garantire la **massima distanza**, tenere il preparato solo dall'estremo superiore del sostegno metallico.

Descrizione dell'esperimento

Si vuole misurare l'intensità della radiazione γ dietro un assorbitore in funzione dello spessore dell'assorbitore e verificare la legge dell'assorbimento di Lambert. Si può ricavare il coefficiente di attenuazione lineare μ ed lo spessore di semiattenuazione $d_{1/2}$.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box MCA	524 058
1	Serie di 5 preparati radioattivi	559 83
1	Serie di assorbitori e piastrine	559 94
1	Contatore a scintillazione	559 901
1	Stadio rivelatore	559 912

1	Alimentatore ad alta tensione 1,5 kV	521 68
1	Attacco per schermo scintillatore	559 891
1	Asta di sostegno, 47 cm	300 42
1	Morsetto Leybold	301 01
1	Pinza universale, diam. 0...80 mm	666 555
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Lo stadio d'uscita del contatore a scintillazione è collegato al box MCA e all'alimentatore di alta tensione. Il contatore a scintillazione va montato nell'apposito attacco ed il puntale ricoperto con il tubo di plexiglas. Il preparato da analizzare va posto pochi centimetri sopra il rivelatore mediante l'apposito sostegno. Gli assorbitori vanno posati sul tubo di plexiglas.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Iniziare la prova con il preparato di Co-60 e registrare lo spettro senza assorbitore (**F9**); regolare l'alta tensione in modo che lo spettro copra tutto il campo di misura.
- Posare sul tubo di plexiglas assorbitori di diverso spessore (alluminio, ferro piombo) e registrare lo spettro ottenuto con ciascuno di essi (**F9**).
- Ripetere le misure con i preparati di Cs-137 ed Am-241.

Valutazione dei risultati

Con la funzione Calcolo dell'integrale, si possono determinare le velocità di conteggio e le righe dello spettro. In questo modo, si ottiene la rappresentazione delle velocità di conteggio in corrispondenza di ogni singola energia e di ciascun assorbitore in funzione del loro spessore. Da questa rappresentazione si può ricavare il coefficiente di attenuazione lineare μ e lo spessore di semiattenuazione $d_{1/2}$.

$$I = I_0 e^{-\mu \cdot x}$$

I valori caratteristici di μ sono:

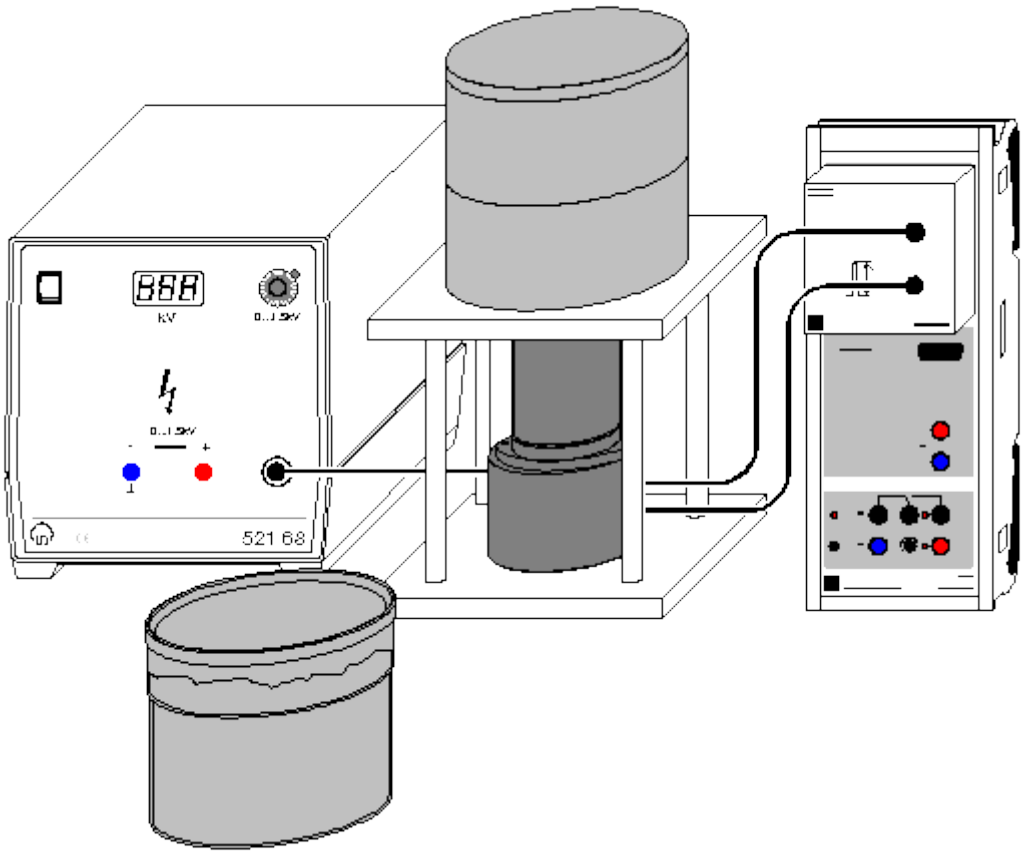
E	60 keV	662 keV	1253 keV
Al	0,51 1/cm	0,16 1/cm	0,13 1/cm
Fe	7,4 1/cm	0,43 1/cm	0,36 1/cm
Pb		0,86 1/cm	0,55 1/cm

Osservazioni

Il cristallo di NaI(Tl) che si trova alla fine del contatore a scintillazione è molto sensibile alle sollecitazioni meccaniche e si può rompere facilmente. Appoggiare con cura gli assorbitori sopra il rivelatore.

A volte, si possono verificare delle incrinature nel cristallo che ne riducono la sensibilità e, soprattutto, possono peggiorare la risoluzione energetica a causa della dispersione.

Identificazione e determinazione dell'attività di campioni debolmente radioattivi



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Norme di sicurezza

Quando si adoperano i preparati di sostanze radioattive, bisogna rispettare le regole di sicurezza emanate dai vari paesi, per es. le Regole di Protezione dalle Radiazioni (StrlSchV) della Germania. Le sostanze radioattive usate in questo esperimento sono state approvate per scopi didattici secondo la normativa StrlSchV. Poiché tali sostanze generano una radiazione ionizzante, è opportuno rispettare le seguenti norme di sicurezza:

- Impedire l'accesso alle **persone non autorizzate**.
- Prima di eseguire una manutenzione verificare che sia tutto **intatto**.
- A scopo di **protezione**, conservare i preparati in contenitori a norma di sicurezza.
- Per garantire il **minore tempo di esposizione** e la **minima attività**, estrarre i preparati dai loro contenitori solo per il tempo necessario per eseguire l'esperimento.
- Per garantire la **massima distanza**, tenere il preparato solo dall'estremo superiore del sostegno metallico.

Descrizione dell'esperimento

Si vuole determinare la probabilità di rivelazione del contatore a scintillazione di energie γ diverse mediante preparati di calibrazione. Si registra lo spettro γ di un campione debolmente radioattivo e si determinano i suoi componenti radioattivi.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200

1	Box MCA	524 058
2	Becher Marinelli	559 88
1	Preparato di calibrazione Cs-137, 5kBq	559 885
4	Cloruri di potassio, 250 g	672 5210
1	Contatore a scintillazione	559 901
1	Stadio rivelatore	559 912
1	Alimentatore ad alta tensione 1,5 kV	521 68
1	Schermo per scintillatore	559 89
1	Attacco per schermo scintillatore	559 891
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Lo stadio d'uscita del contatore a scintillazione è collegato al box MCA e all'alimentatore di alta tensione. Il contatore va montato assieme allo schermo di piombo. Il preparato va messo nel becher Marinelli e collocato sopra il contatore a scintillazione.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Riempire il becher Marinelli con 1 kg di cloruro di potassio e metterlo sopra il contatore a scintillazione.
- Registrare lo spettro (**F9**) variando l'alta tensione in modo da coprire tutto il campo di misura.
- Togliere il becher Marinelli ed inserire il preparato di calibrazione Cs-137
- Registrare lo spettro
- Calibrare l'energia di entrambi gli spettri con le righe a 1460 keV e 662 keV.
- Togliere il preparato
- Distribuire uniformemente la sostanza di prova nel becher Marinelli, mettere il becher sopra il contatore a scintillazione e registrare lo spettro del campione.
- Fare una misura senza il preparato. La durata della misura deve essere uguale a quella del campione.

Valutazione dei risultati

Si conosce già l'attività del cloruro di potassio (17 kBq/kg) e del Cs-137 usato come preparato di calibrazione (circa. 5 kBq, vedere il certificato di calibrazione, tenere presente il tempo di dimezzamento). In questa particolare situazione, nota la velocità di conteggio riportata sotto le righe dei due spettri, si può determinare la probabilità di rivelazione del contatore a scintillazione a 1460 keV e 662 keV.

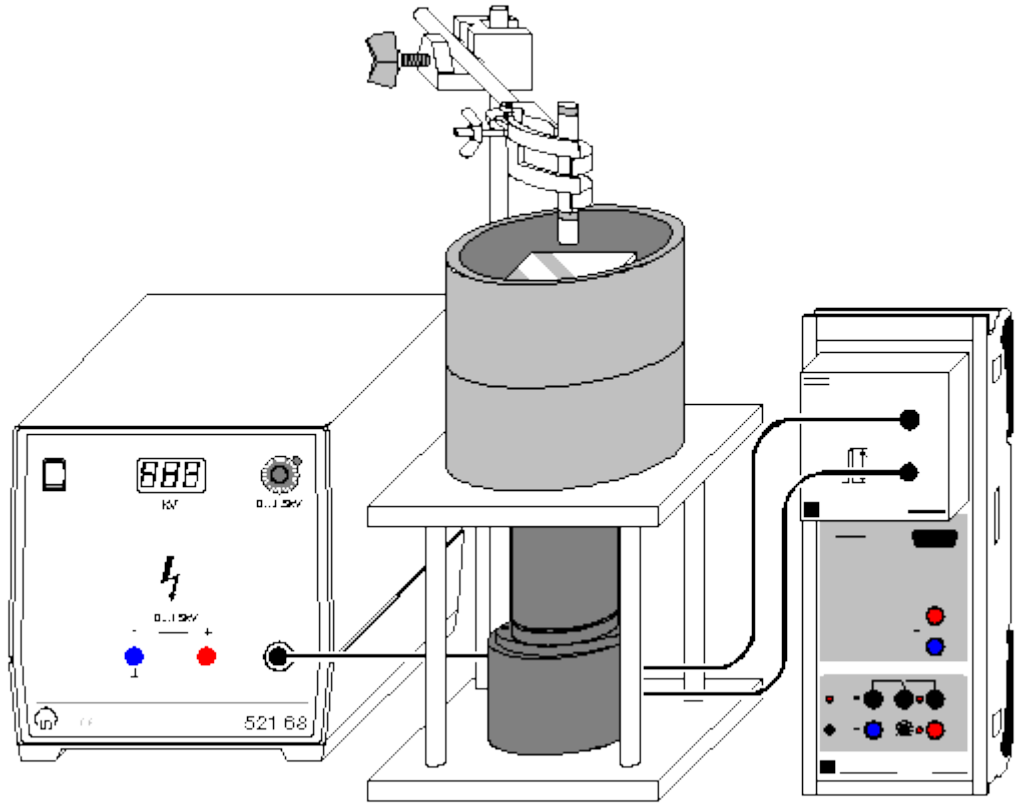
Si elimina lo sfondo sovrapposto allo spettro del campione. Dallo spettro risultante e dalla probabilità di rivelazione ricavata precedentemente, si può determinare la contaminazione radioattiva del campione. Le energie servono ad individuare l'isotopo radioattivo presente nel campione, mentre la probabilità di rivelazione serve a valutare la sua quantità.

Osservazioni

Il cristallo di NaI(Tl) che si trova alla fine del contatore a scintillazione è molto sensibile alle sollecitazioni meccaniche e si può rompere facilmente. Inserire con cura il becher Marinelli.

Se si eseguono le misure con campioni fortemente radioattivi, prendere in considerazione anche la visualizzazione del tempo morto e, se necessario, diluire il campione.

Registrazione di uno spettro β con il contatore a scintillazione



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Norme di sicurezza

Quando si adoperano i preparati di sostanze radioattive, bisogna rispettare le regole di sicurezza emanate dai vari paesi, per es. le Regole di Protezione dalle Radiazioni (StrlSchV) della Germania. Le sostanze radioattive usate in questo esperimento sono state approvate per scopi didattici secondo la normativa StrlSchV. Poiché tali sostanze generano una radiazione ionizzante, è opportuno rispettare le seguenti norme di sicurezza:

- Impedire l'accesso alle **persone non autorizzate**.
- Prima di eseguire una manutenzione verificare che sia tutto **intatto**.
- A scopo di **protezione**, conservare i preparati in contenitori a norma di sicurezza.
- Per garantire il **minore tempo di esposizione** e la **minima attività**, estrarre i preparati dai loro contenitori solo per il tempo necessario per eseguire l'esperimento.
- Per garantire la **massima distanza**, tenere il preparato solo dall'estremo superiore del sostegno metallico.

Descrizione dell'esperimento

Serve a registrare lo spettro β di Sr-90 con il contatore a scintillazione ed a misurare la perdita di energia dE/dx delle particelle β nell'alluminio con la distanza.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box MCA	524 058
1	Serie di 5 preparati radioattivi	559 83
1	Serie di assorbitori e piastrine	559 94

1	Contatore a scintillazione	559 901
1	Stadio rivelatore	559 912
1	Alimentatore ad alta tensione 1,5 kV	521 68
1	Schermo per scintillatore	559 89
1	Attacco per schermo scintillatore	559 891
1	Asta di sostegno, 47 cm	300 42
1	Morsetto Leybold	301 01
1	Pinza universale, diam. 0...80 mm	666 555
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Lo stadio d'uscita del contatore a scintillazione è collegato al box MCA e all'alimentatore di alta tensione e messo nell'apposito attacco. Il contatore a scintillazione va montato sopra l'attacco assieme allo schermo di piombo. Il tubo di plexiglas va messo sopra il contatore a scintillazione con lo schermo di piombo. Il preparato va messo pochi centimetri sopra il contatore a scintillazione utilizzando l'apposito sostegno. Gli assorbitori vanno posati sul tubo di plexiglas collocandoli tra il rivelatore ed il preparato.

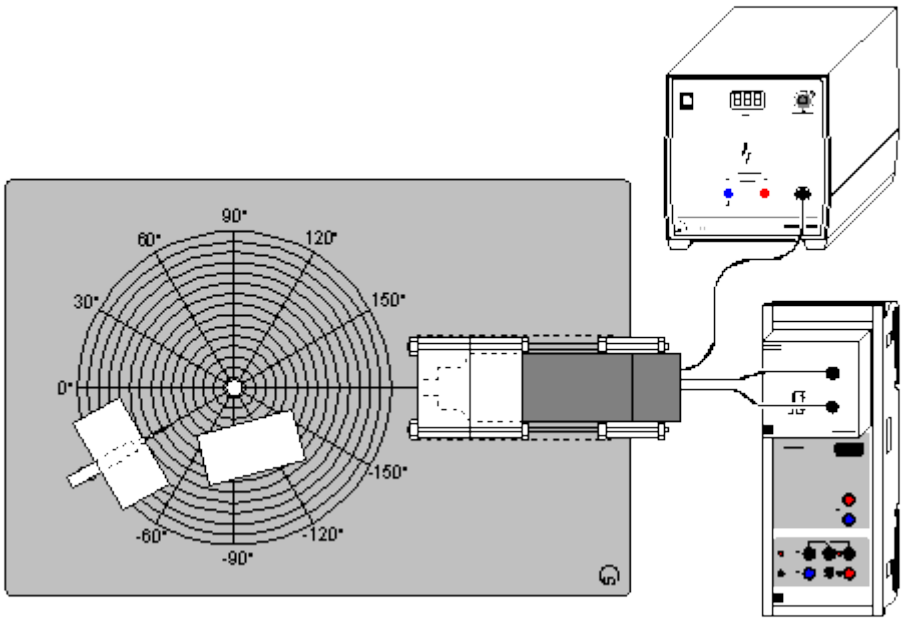
Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Montare il preparato di Sr-90 e registrare lo spettro (**F9**). Regolare l'alta tensione in modo da non tagliare il lato destro dello spettro.
- Per calibrare l'energia, montare il preparato di Na-22 ed eseguire la calibrazione con le righe a 511 keV ed a 1275 keV. Lo spettro di Sr-90 arriva fino a circa 2000 keV.
- Si raccomanda di visualizzare lo sfondo in assenza del preparato.
- Montare di nuovo il preparato di Sr-90 e vedere se c'è sufficiente spazio per gli assorbitori.
- Registrare, uno dopo l'altro, gli spettri che si ottengono senza assorbitore e con assorbitori di alluminio spessi 0,5 mm, 1 mm e 3 mm.

Valutazione dei risultati

L'assorbitore di alluminio riduce l'energia massima dell'elettrone che raggiunge il rivelatore. Per ciascuno spettro di Sr-90, si determina la massima energia con la quale vengono rivelati gli elettroni. Questi valori di energia vengono raccolti in una tabella assieme allo spessore dell'assorbitore. La curva decresce con una pendenza che dipende dalla perdita di energia dE/dx con la distanza; in questo caso si ottiene un valore di circa 400 – 450 keV/mm.

Valutazione quantitativa dell'effetto Compton



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Norme di sicurezza

Quando si adoperano i preparati di sostanze radioattive, bisogna rispettare le regole di sicurezza emanate dai vari paesi, per es. le Regole di Protezione dalle Radiazioni (StrlSchV) della Germania. Le sostanze radioattive usate in questo esperimento sono state approvate per scopi didattici secondo la normativa StrlSchV. Poiché tali sostanze generano una radiazione ionizzante, è opportuno rispettare le seguenti norme di sicurezza:

- Impedire l'accesso alle **persone non autorizzate**.
- Prima di eseguire una manutenzione verificare che sia tutto **intatto**.
- A scopo di **protezione**, conservare i preparati in contenitori a norma di sicurezza.
- Per garantire il **minore tempo di esposizione** e la **minima attività**, estrarre i preparati dai loro contenitori solo per il tempo necessario per eseguire l'esperimento.
- Per garantire la **massima distanza**, tenere il preparato solo dall'estremo superiore del sostegno metallico.

Descrizione dell'esperimento

Si esegue una calibrazione del contatore a scintillazione. Si vuole registrare la distribuzione di energia dei quanti γ diffusi da un diffusore di alluminio con diversi valori dell'angolo compreso tra la sorgente ed il rivelatore. Questi dati servono a confermare l'effetto Compton.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box MCA	524 058
1	Miscuglio di preparati α, β, γ	559 84 oppure da 559 83
1	Apparecchiatura di Compton	559 800
1	Preparato di Cs-137, 3,7 MBq	559 809
1	Contatore a scintillazione	559 901
1	Stadio rivelatore	559 912
1	Alimentatore ad alta tensione 1,5 kV	521 68
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Lo stadio d'uscita del contatore a scintillazione è collegato al box MCA e all'alimentatore di alta tensione. Si utilizzano il pannello sperimentale per l'apparecchiatura di Compton e lo schermo di piombo.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Prima di tutto bisogna calibrare in energia il contatore a scintillazione. Per questa operazione, collocare il miscuglio di preparati nell'apparecchiatura di Compton tramite l'apposito sostegno ed orientarlo secondo un angolo di 0°. Togliere il diffusore di alluminio.
- Registrare lo spettro (**F9**), ed eseguire la calibrazione dell'energia con le righe a 662 keV e 59,5 keV.
- Sostituire il precedente miscuglio con il preparato di Cs-137, orientare il preparato secondo un angolo di 10° ed inserire il diffusore di alluminio. Interrompere con lo schermo addizionale la linea che unisce direttamente il preparato ed il rivelatore.
- Registrare lo spettro (**F9**), togliere il diffusore di alluminio e registrare il nuovo spettro.
- Dalla differenza dei due spettri (con e senza il diffusore di alluminio) si ottiene lo spettro di diffusione.
- Ripetere la misura con diversi angoli del preparato e, ogni volta, sottrarre lo spettro ottenuto senza il diffusore di alluminio da quello ottenuto con il diffusore di alluminio. Ogni volta, spostare lo schermo addizionale in modo da interrompere la linea che va direttamente dal preparato al rivelatore.

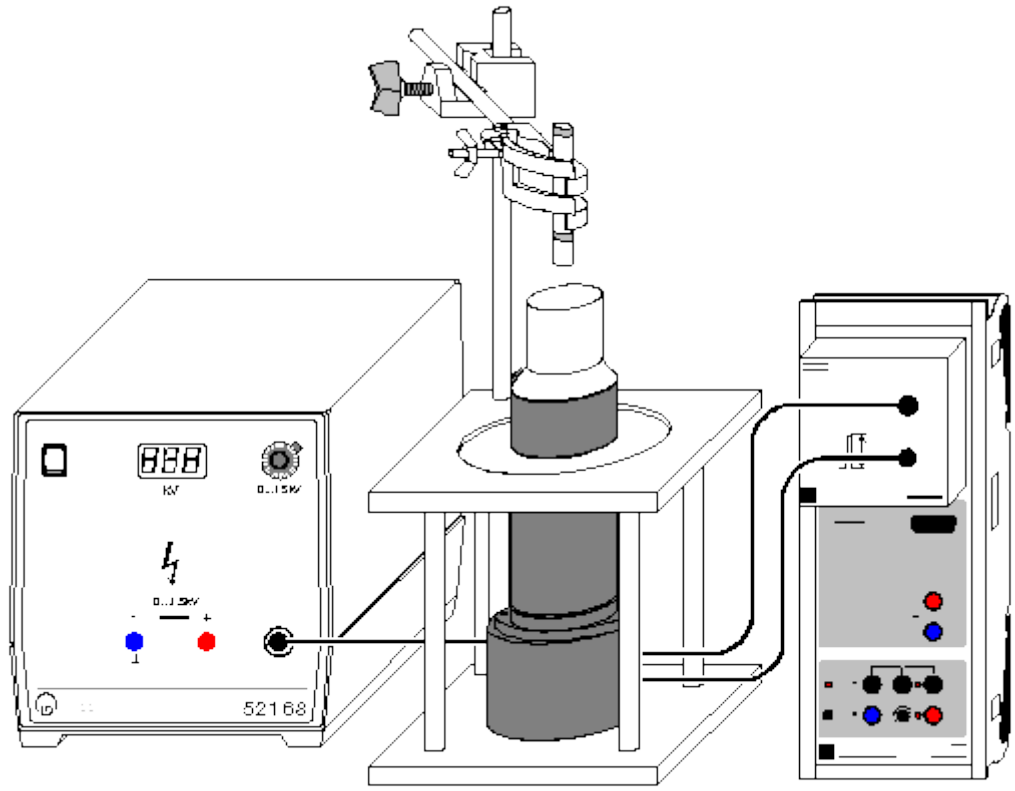
Valutazione dei risultati

Dallo spettro di diffusione (differenza degli spettri con e senza il diffusore di alluminio) si determina l'energia dei quanti γ di diffusione. Infine, si può ricavare l'andamento di questi valori in funzione dell'angolo e fare il confronto con i valori teorici

$$E_r' = E_r \Big/ \left(1 + \frac{E_r}{m_0 c^2}\left(1 - \cos\Theta\right)\right).$$

Come alternativa si può utilizzare la funzione Interpolazione libera.

Registrazione dello spettro complesso del Ra-226 e dei suoi prodotti di decadimento



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Norme di sicurezza

Quando si adoperano i preparati di sostanze radioattive, bisogna rispettare le regole di sicurezza emanate dai vari paesi, per es. le Regole di Protezione dalle Radiazioni (StrlSchV) della Germania. Le sostanze radioattive usate in questo esperimento sono state approvate per scopi didattici secondo la normativa StrlSchV. Poiché tali sostanze generano una radiazione ionizzante, è opportuno rispettare le seguenti norme di sicurezza:

- Impedire l'accesso alle **persone non autorizzate**.
- Prima di eseguire una manutenzione verificare che sia tutto **intatto**.
- A scopo di **protezione**, conservare i preparati in contenitori a norma di sicurezza.
- Per garantire il **minore tempo di esposizione** e la **minima attività**, estrarre i preparati dai loro contenitori solo per il tempo necessario per eseguire l'esperimento.
- Per garantire la **massima distanza**, tenere il preparato solo dall'estremo superiore del sostegno metallico.

Descrizione dell'esperimento

Registrazione dello spettro complesso del Ra-226 e dei suoi prodotti di decadimento.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box MCA	524 058
1	Miscuglio di preparati α, β, γ	559 84 oppure da 559 83
1	Preparato di Ra-226	559 430
1	Contatore a scintillazione	559 901

1	Stadio rivelatore	559 912
1	Alimentatore ad alta tensione 1,5 kV	521 68
1	Schermo per scintillatore	559 89
1	Attacco per schermo scintillatore	559 891
1	Asta di sostegno, 47 cm	300 42
1	Morsetto Leybold	301 01
1	Pinza universale, diam. 0...80 mm	666 555
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Lo stadio d'uscita del contatore a scintillazione è collegato al box MCA e all'alimentatore di alta tensione. Il preparato va messo pochi centimetri sopra il contatore a scintillazione utilizzando l'apposito sostegno.

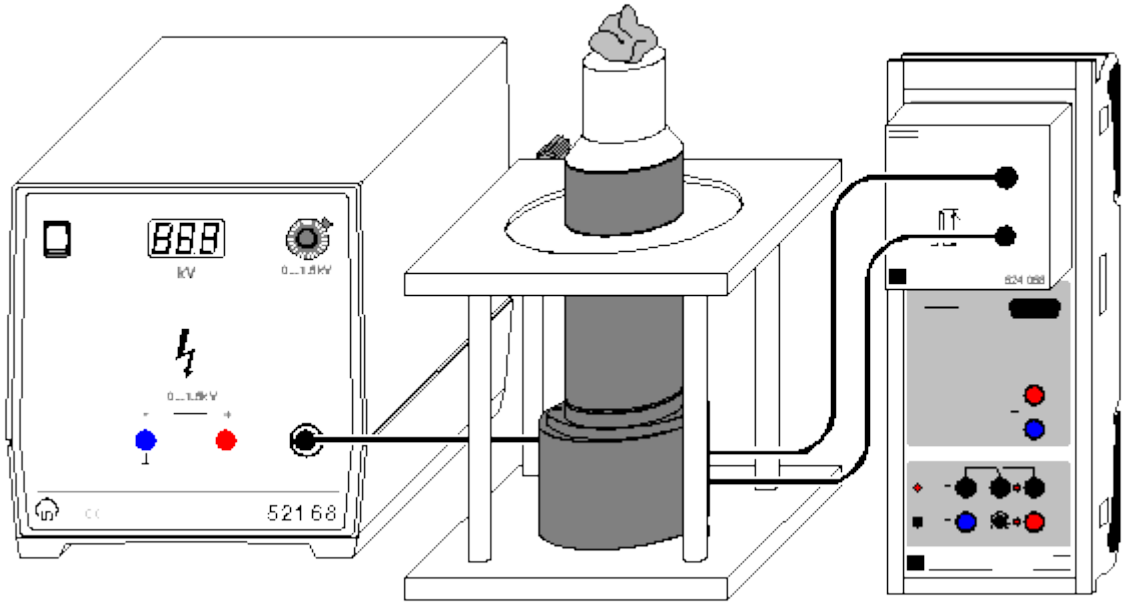
Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Per eseguire la calibrazione dell'energia collocare il miscuglio di preparati sopra il rivelatore, registrare lo spettro (**F9**), ed utilizzare le righe a 662 keV e 59,5 keV.
- Togliere il miscuglio di preparati e sostituirlo con il preparato di Ra-226. Registrare lo spettro.

Valutazione dei risultati

La corrispondenza tra le righe ricavate dalla misura e gli isotopi della serie radioattiva del radio si trova con l'aiuto dei valori teorici oppure tramite Internet (vedere ad esempio http://nucleardata.nuclear.lu.se/nucleardata/toi/).

Registrazione dello spettro complesso γ di una reticella a gas incandescente



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Norme di sicurezza

Quando si adoperano i preparati di sostanze radioattive, bisogna rispettare le regole di sicurezza emanate dai vari paesi, per es. le Regole di Protezione dalle Radiazioni (StrlSchV) della Germania. Le sostanze radioattive usate in questo esperimento sono state approvate per scopi didattici secondo la normativa StrlSchV. Poiché tali sostanze generano una radiazione ionizzante, è opportuno rispettare le seguenti norme di sicurezza:

- Impedire l'accesso alle **persone non autorizzate**.
- Prima di eseguire una manutenzione verificare che sia tutto **intatto**.
- A scopo di **protezione**, conservare i preparati in contenitori a norma di sicurezza.
- Per garantire il **minore tempo di esposizione** e la **minima attività**, estrarre i preparati dai loro contenitori solo per il tempo necessario per eseguire l'esperimento.
- Per garantire la **massima distanza**, tenere il preparato solo dall'estremo superiore del sostegno metallico.

Descrizione dell'esperimento

Registrazione dello spettro complesso del Th-232 e dei suoi prodotti di decadimento. Precedentemente è già stato spiegato l'uso delle sostanze radioattive.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box MCA	524 058
1	Miscuglio di preparati α, β, γ	559 84 oppure da 559 83
1	Reticella a gas incandescente da	588 855
1	Contatore a scintillazione	559 901
1	Stadio rivelatore	559 912
1	Alimentatore ad alta tensione 1,5 kV	521 68
1	Schermo per scintillatore	559 89
1	Attacco per schermo scintillatore	559 891
1	Asta di sostegno, 47 cm	300 42
1	Morsetto Leybold	301 01

1 Pinza universale, diam. 0...80 mm 666 555
1 PC con Windows 98/2000/XP/Vista

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Lo stadio d'uscita del contatore a scintillazione è collegato al box MCA e all'alimentatore di alta tensione. Il preparato va messo sopra il contatore a scintillazione con l'apposito sostegno oppure semplicemente appoggiato sul rivelatore.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Per eseguire la calibrazione dell'energia collocare il miscuglio di preparati sopra il rivelatore, registrare lo spettro (**F9**), ed utilizzare le righe a 662 keV e 59,5 keV.
- Togliere il miscuglio di preparati e sostituirlo con la reticella a gas incandescente (Th-232). Registrare lo spettro.

Valutazione dei risultati

La corrispondenza tra le righe ricavate dalla misura e gli isotopi della serie radioattiva del torio si trova con l'aiuto dei valori teorici oppure tramite Internet (vedere ad esempio http://nucleardata.nuclear.lu.se/nucleardata/toi/).

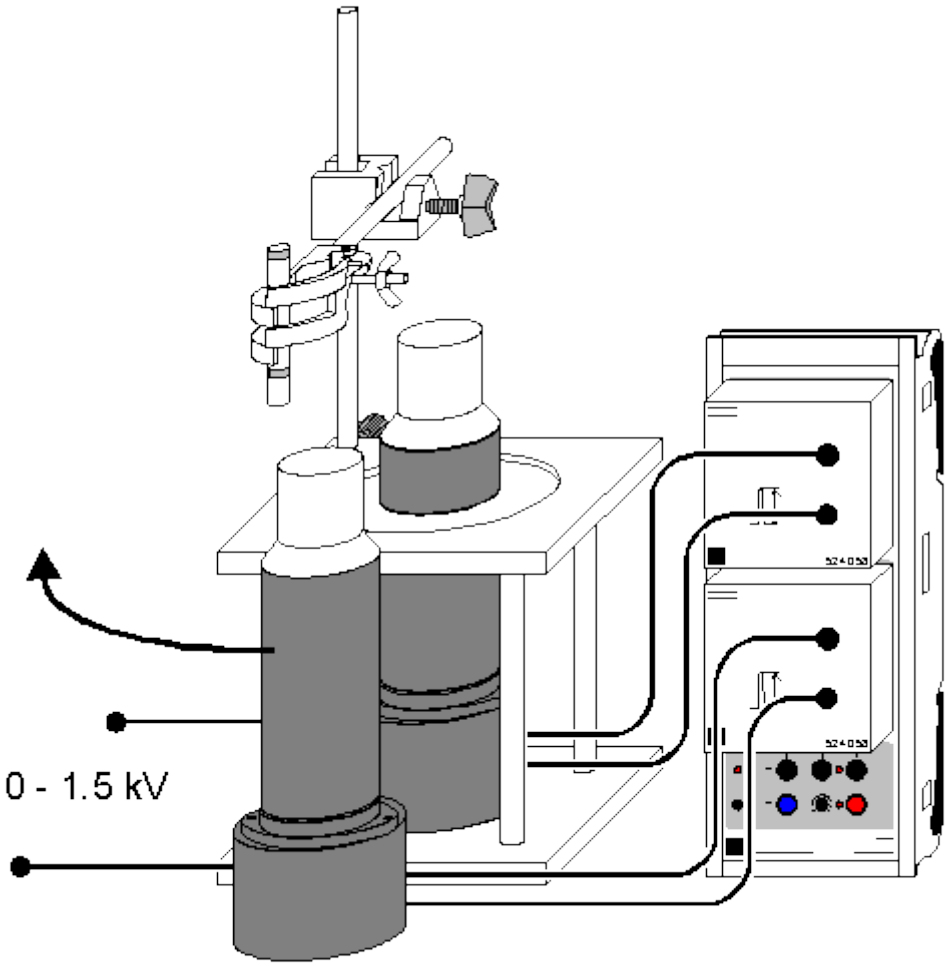
Osservazioni

Le reticelle a gas incandescente di recente costruzione non contengono torio, ma ittrio.

Durante i primi anni dalla costruzione, l'intensità di alcune righe cambia fino a raggiungere un nuovo equilibrio radioattivo. In particolare, l'intensità delle righe a 338 e 911 keV (decadimento di Ac-228 in Th-228) si comporta diversamente dalle altre righe. Questo influisce anche sulle righe K_α.

Per l'esperimento, non si possono usare le reticelle a gas incandescente già utilizzate in una lampada poiché in questo caso si polverizzano rapidamente.

Coincidenza e correlazione angolare γ-γ nel positrone decaduto



Carica esempio

Norme di sicurezza

Quando si adoperano i preparati di sostanze radioattive, bisogna rispettare le regole di sicurezza emanate dai vari paesi, per es. le Regole di Protezione dalle Radiazioni (StrlSchV) della Germania. Le sostanze radioattive usate in questo esperimento sono state approvate per scopi didattici secondo la normativa StrlSchV. Poiché tali sostanze generano una radiazione ionizzante, è opportuno rispettare le seguenti norme di sicurezza:

- Impedire l'accesso alle **persone non autorizzate**.
- Prima di eseguire una manutenzione verificare che sia tutto **intatto**.
- A scopo di **protezione**, conservare i preparati in contenitori a norma di sicurezza.
- Per garantire il **minore tempo di esposizione** e la **minima attività**, estrarre i preparati dai loro contenitori solo per il tempo necessario per eseguire l'esperimento.
- Per garantire la **massima distanza**, tenere il preparato solo dall'estremo superiore del sostegno metallico.

Descrizione dell'esperimento

È stato dimostrato che nell'annichilazione di una coppia positrone-elettrone si ha la coincidenza spaziale di due quanti γ. In questo esperimento si può verificare che, in base alla conservazione del momento della quantità di moto, si ha l'emissione di due quanti secondo un angolo di 180°. La misura selettiva di uno spettro a coincidenza provoca la soppressione delle righe non correlate.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor CASSY	524 010

1	CASSY Lab	524 200
2	Box MCA	524 058
1	Serie di 5 preparati radioattivi	559 83
2	Contatori a scintillazione	559 901
2	Stadi rivelatori	559 912
2	Alimentatori ad alta tensione 1,5 kV	521 68
2	Attacchi per schermo scintillatore	559 891
1	Asta di sostegno, 47 cm	300 42
1	Morsetto Leybold	301 01
1	Pinza universale, diam. 0...80 mm	666 555
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Gli stadi d'uscita dei contatori a scintillazione sono collegati ai box MCA e all'alimentatore di alta tensione / agli alimentatori di alta tensione. Entrambi i box MCA debbono essere inseriti nella stessa CASSY. Il preparato va messo vicino ad un contatore a scintillazione utilizzando l'apposito sostegno in modo tale da spostare l'altro rivelatore e variare, così, l'angolo rivelatore 1 - preparato - rivelatore 2.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Prima di tutto bisogna registrare lo spettro normale del Na-22 utilizzando un contatore alla volta. Calibrare uno dei due contatori.
- Scegliere il modo di coincidenza mentre si misura lo spettro con il rivelatore calibrato. Fissare la finestra di coincidenza dell'altro rivelatore attorno alla riga a 511 keV.
- Posizionare il rivelatore mobile in modo che il preparato si trovi tra i due rivelatori. Registrare lo spettro a coincidenza.
- Spostare il rivelatore mobile in modo da posizionarlo perpendicolarmente alla linea di congiunzione preparato – altro rivelatore. Registrare lo spettro a coincidenza.
- Si possono registrare altri spettri a coincidenza con angoli intermedi.
- Collocare i preparati di Cs-137 e di Na-22 tra i due rivelatori, posizionare il rivelatore mobile in modo che i preparati restino sempre tra i due rivelatori. Registrare lo spettro a coincidenza.
- Registrare lo spettro MCA normale di questo sistema.
- Togliere il preparato di Cs-137, fissare la finestra di coincidenza attorno alla riga a 1275 keV e registrare lo spettro a coincidenza a 180° ed a 90°.

Valutazione dei risultati

Lo spettro normale di Na-22 è formato da una riga a 1275 keV e dalle due radiazioni di annichilazione a 511 keV. I due quanti a 511 keV sono correlati nel tempo e nello spazio (emissione sotto i 180°). I quanti a 1275 keV sono correlati nel tempo con i quanti a 511 keV poiché con questo sistema non è possibile rivelare il ritardo di 3,7 ps. Questa emissione non è correlata nello spazio.

Nello spettro MCA normale si possono vedere entrambe le righe. Nella coincidenza a 180°, è molto evidente la riga a 511 keV in quanto correlata nello spazio, mentre le altre componenti dello spettro (riga a 1275 keV, distribuzione Compton) sono correlate solo nel tempo per cui sono più deboli della riga a 511 keV a causa della presenza del secondo rivelatore. Per questo motivo, la velocità di conteggio della riga a 511 keV diminuisce in accordo con la probabilità di rivelazione del secondo rivelatore.

Se si ruota il rivelatore di 180°, la riga a 511 keV scompare mentre le componenti che non sono correlate nello spazio restano inalterate.

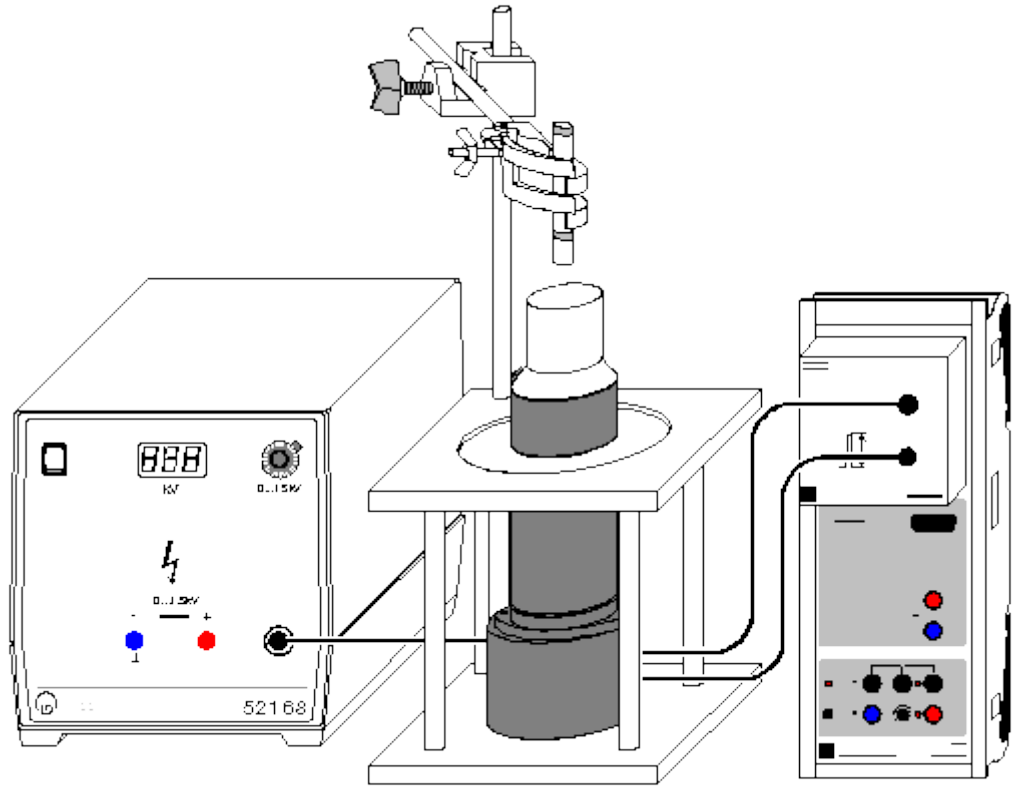
Per mostrare la soppressione dei quanti che non sono correlati nel tempo, si utilizzano contemporaneamente due preparati. Il Cs-137 fornisce uno sfondo non correlato, che si può vedere nella misura a coincidenza poiché tale coincidenza è solo accidentale, mentre è chiaramente visibile se la misura non è a coincidenza..

Se la misura a coincidenza viene fatta con la riga a 1275 keV, non si ha più correlazione nello spazio; quindi lo spettro è sempre lo stesso anche con angoli diversi. In questo caso, poiché per decadimento c'è solo un quanto a 1275 keV, la misura a coincidenza non visualizza la riga a 1275 keV.

Osservazione

Il tempo di finestra per le coincidenze ha un valore di default di 4 μs.

Misure con l'analizzatore monocanale



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Norme di sicurezza

Quando si adoperano i preparati di sostanze radioattive, bisogna rispettare le regole di sicurezza emanate dai vari paesi, per es. le Regole di Protezione dalle Radiazioni (StrlSchV) della Germania. Le sostanze radioattive usate in questo esperimento sono state approvate per scopi didattici secondo la normativa StrlSchV. Poiché tali sostanze generano una radiazione ionizzante, è opportuno rispettare le seguenti norme di sicurezza:

- Impedire l'accesso alle **persone non autorizzate**.
- Prima di eseguire una manutenzione verificare che sia tutto **intatto**.
- A scopo di **protezione**, conservare i preparati in contenitori a norma di sicurezza.
- Per garantire il **minore tempo di esposizione** e la **minima attività**, estrarre i preparati dai loro contenitori solo per il tempo necessario per eseguire l'esperimento.
- Per garantire la **massima distanza**, tenere il preparato solo dall'estremo superiore del sostegno metallico.

Descrizione dell'esperimento

Serve a dimostrare i vantaggi di un analizzatore multicanale. Per questo motivo, si esegue una misura in modalità MCA quindi si fa il confronto con una misura eseguita in modalità monocanale.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box MCA	524 058
1	Miscuglio di preparati α, β, γ	559 84 oppure da 559 83
1	Contatore a scintillazione	559 901
1	Stadio rivelatore	559 912

1	Alimentatore ad alta tensione 1,5 kV	521 68
1	Attacco per schermo scintillatore	559 891
1	Asta di sostegno, 47 cm	300 42
1	Morsetto Leybold	301 01
1	Pinza universale, diam. 0...80 mm	666 555
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Lo stadio d'uscita del contatore a scintillazione è collegato al box MCA e all'alimentatore di alta tensione. Il preparato va messo pochi centimetri sopra il contatore a scintillazione utilizzando l'apposito sostegno.

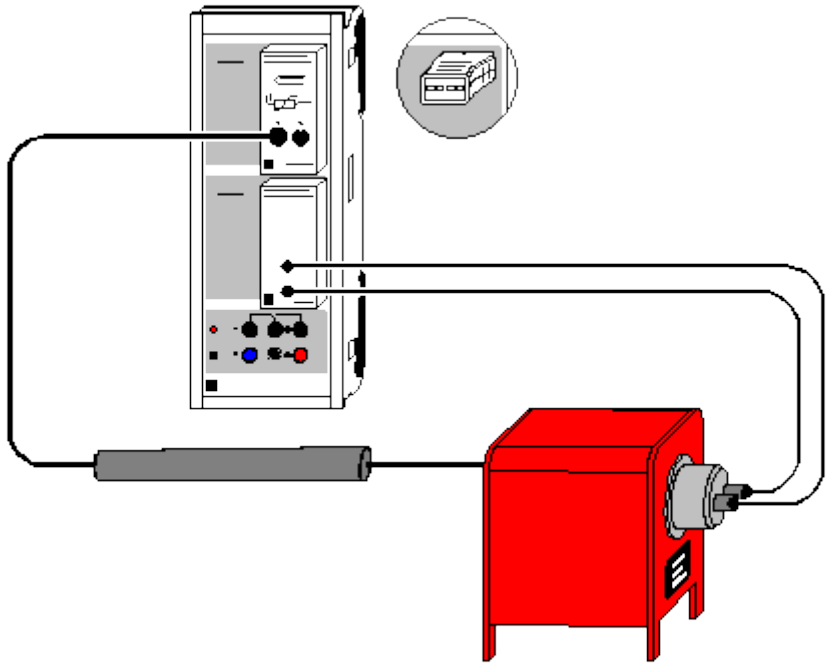
Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Avviare la misura in modalità MCA (**F9**).
- Avviare la misura in modalità monocanale, ad esempio, utilizzando lo stesso tempo per eseguire tutte le misure oppure per eseguire una misura alla volta.

Valutazione dei risultati

La misura eseguita con tutti i canali in parallelo presenta dei vantaggi rispetto al caso in cui i singoli canali sono usati sequenzialmente. Infatti, a parità di tempo impiegato nell'eseguire la misura, nel primo caso si ottiene una migliore risoluzione o un migliore rapporto segnale/rumore.

Conduzione elettrica nei corpi solidi



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Il legame tra la resistenza specifica R e la temperatura è un semplice test utile ad individuare le caratteristiche elettriche dei conduttori e dei semiconduttori. Nei materiali conduttori, la resistenza R aumenta con la temperatura a causa degli urti tra gli atomi e gli elettroni liberi che si trovano nella banda di conduzione. Nei materiali semiconduttori, invece, la resistenza diminuisce con l'aumentare della temperatura poiché aumenta il numero di elettroni liberi che passano dalla banda di valenza alla banda di conduzione per contribuire, così, alla conducibilità.

In questo esperimento, si misura la resistenza in funzione della temperatura di un resistore a metallo nobile e di un resistore a semiconduttore. Nel caso del resistore di metallo nobile, si trova che la relazione

$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \vartheta)$ (R_0: resistenza a ϑ = 0 °C)

è soddisfatta con sufficiente approssimazione in tutto l'intervallo di temperatura in cui viene eseguita la misura. Per la resistenza a semiconduttore, dai risultati della prova si deduce una relazione del tipo

$R \propto e^{\Delta E/2kT}$ (k = 1,38·10^{-23} J/K: costante di Boltzmann)

dove ΔE è l'intervallo della banda di energia.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box generatore di corrente	524 031
1	Box temperatura	524 045
1	Sensore di temperatura NiCr-Ni	666 193
	o	
1	Adattatore NiCr-Ni S	524 0673
1	Sensore di temperatura NiCr-Ni, tipo K	529 676

1	Resistore di metallo nobile	586 80
1	Resistore a semiconduttore	586 82
1	Forno elettrico, 230 V	555 81
1	Cassetta di collegamento a norma di sicurezza	502 061
2	Cavi di collegamento, 100 cm, neri	500 444
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Il box temperatura inserito nell'ingresso A di Sensor-CASSY misura la temperatura all'interno del forno elettrico tramite il sensore. Inserire la sonda nell'apposito foro del forno e metterla in prossimità dell'elemento resistivo. Il box generatore di corrente collegato all'ingresso B registra il valore della resistenza elettrica.

Esecuzione dell'esperimento

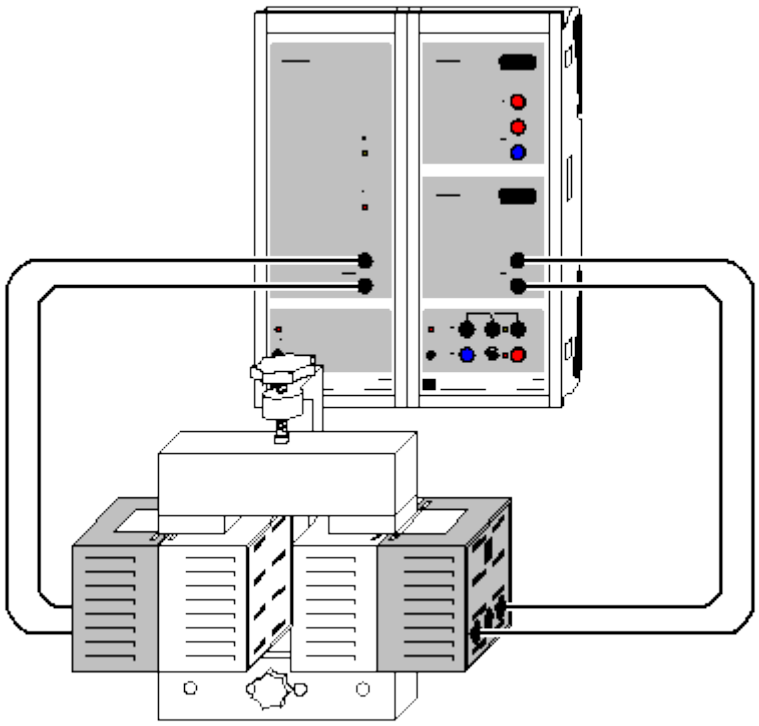
- Carica settaggi
- Iniziare la misura con **F9** (ad ogni aumento della temperatura di 5 K viene registrata una coppia di valori).
- Chiudere l'interruttore del circuito di alimentazione del forno.
- Arrestare la misura con **F9** appena la temperatura raggiunge 470 K (circa 200 °C).
- Aprire l'interruttore del circuito di alimentazione del forno e togliere il resistore.
- Far raffreddare il forno e ripetere la misura con un altro resistore.

Valutazione dei risultati

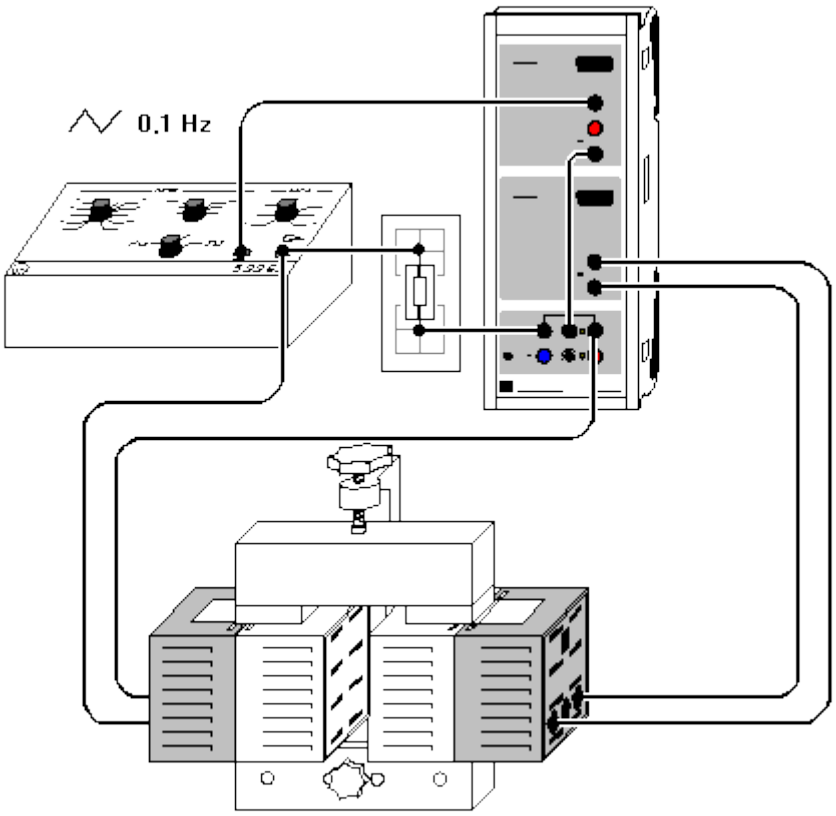
Con un resistore di metallo nobile (platino), la resistenza aumenta linearmente con la temperatura. Interpolando i risultati con l'andamento lineare, si può determinare facilmente il coefficiente di temperatura α. In questo esempio si ha una resistenza di 100 Ω a 0 °C e si trova che essa aumenta di 0,407 Ω/K, per cui si ottiene α = 0,00407 /K. Questo risultato approssima molto bene il valore teorico del platino, cioè α = 0,00392 /K.

La resistenza di un resistore di materiale semiconduttore diminuisce in modo non lineare con l'aumentare della temperatura. Interpolando l'andamento 1/T ricavato sperimentalmente con la funzione esponenziale (cliccare con il mouse sulla tabella), si trova che ad alta temperatura è confermata la relazione $R \propto e^{\Delta E/2kT}$. Con il materiale semiconduttore utilizzato in questo esempio si trova $2k/\Delta E$ = 0,000368 /K e quindi $\Delta E = 7{,}5 \cdot 10^{-20}$ J = 0,47 eV (1 eV = $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ J).

Isteresi di un materiale ferromagnetico



Alternativamente (senza Power-CASSY):



- Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Nel nucleo di un trasformatore (materiale ferromagnetico), il campo magnetico

$H = N_1/L \cdot I$

è proporzionale al numero di spire per unità di lunghezza N_1/L dell'avvolgimento primario ed alla corrente I che vi circola. Invece, la densità di flusso magnetico o l'induzione magnetica generata

$B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H$ (con $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am)

non è proporzionale ad H. Infatti, anche se il campo magnetico H continua ad aumentare, l'induzione si stabilizza sul valore di saturazione B_s. La permeabilità relativa μ_r di un materiale ferromagnetico varia con l'intensità H del campo magnetico e dipende dal trattamento cui è stato sottoposto precedentemente. Se il materiale ferromagnetico è completamente smagnetizzato, con H = 0 A/m si ha anche B = 0. Normalmente, in tutti i materiali ferromagnetici è presente un magnetismo residuo caratterizzato da una densità di flusso magnetico B diverso da zero anche se H = 0 A/m.

Per questo motivo, di solito si determina la curva d'isteresi la quale fornisce l'andamento dell'induzione magnetica B in funzione dei valori crescenti e decrescenti dell'intensità H del campo. La curva d'isteresi differisce dalla curva di magnetizzazione; infatti, quest'ultima parte dall'origine degli assi cartesiani e si può determinare solo se, inizialmente, il materiale è completamente smagnetizzato (H = 0 A/m, B = 0 T).

In questo esempio non si misura direttamente il campo magnetico e l'induzione magnetica, ma due grandezze proporzionali ad H e B, cioè la corrente al primario $I = (L/N_1) \cdot H$ ed il flusso magnetico $\Phi = N_2 \cdot A \cdot B$ che si concatena con l'avvolgimento secondario (N_2: numero di spire dell'avvolgimento secondario, A sezione del nucleo). Il flusso magnetico Φ si determina calcolando l'integrale della tensione U indotta nel secondario.

Elenco delle apparecchiature

1	Power-CASSY	524 011
1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Nucleo U con giogo	562 11
1	Dispositivo di blocco	562 12
2	Bobine di 500 spire	562 14
4	Cavi di collegamento, 100 cm, neri	500 444
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Alternativamente (senza Power-CASSY)

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Nucleo U con giogo	562 11
1	Dispositivo di blocco	562 12
2	Bobine di 500 spire	562 14
1	Generatore di funzione S12	522 621
1	Resistenza STE, 1 Ω, 2 W	577 19
1	Segmento di pannello a spina	576 71
1	Cavo di collegamento, 50 cm, nero	500 424
7	Cavi di collegamento, 100 cm, neri	500 444
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Power-CASSY fornisce la corrente che circola nel primario del trasformatore. Il flusso magnetico Φ si determina mediante la tensione U indotta nel secondario che si misura attraverso l'ingresso B di Sensor-CASSY.

Alternativamente, è possibile eseguire l'esperimento con il generatore di funzione S12 e senza utilizzare Power-CASSY. Il generatore fornisce un segnale a dente di sega di frequenza 0,1 Hz ed ampiezza 2 V. Per registrare la curva di magnetizzazione si utilizza come trigger la corrente I = 0. Questa condizione si ottiene con un relè il quale, prima di cominciare la registrazione della curva, shunta la corrente dal trasformatore e la fa circolare attraverso la resistenza di 1 Ω.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Se necessario, correggere l'offset aprendo Settaggi UB, selezionare **Corretto**, assegnare come primo valore 0 V e cliccare su **Offset Corretto**.
- Smagnetizzare il nucleo del trasformatore, per esempio battendo ripetutamente sugli estremi del giogo e del nucleo ad U.
- Avviare la misura con **F9**.
- Terminare la misura con **F9** dopo aver descritto completamente un ciclo d'isteresi oppure in corrispondenza di Φ = 0 Vs (in questo caso, il nucleo deve essere completamente smagnetizzato).
- Se il ciclo d'isteresi giace tutto nel secondo e quarto quadrante, invertire i collegamenti di una delle due bobine.
- Se nel corso della misura si supera la portata dello strumento che misura U_B (display lampeggiante), aumentare il range della misura mediante Settaggi UB.

Valutazione dei risultati

Poiché l'area racchiusa dal ciclo d'isteresi B(H)

$$\int B \cdot \mathrm{d}H = \frac{E}{V}$$

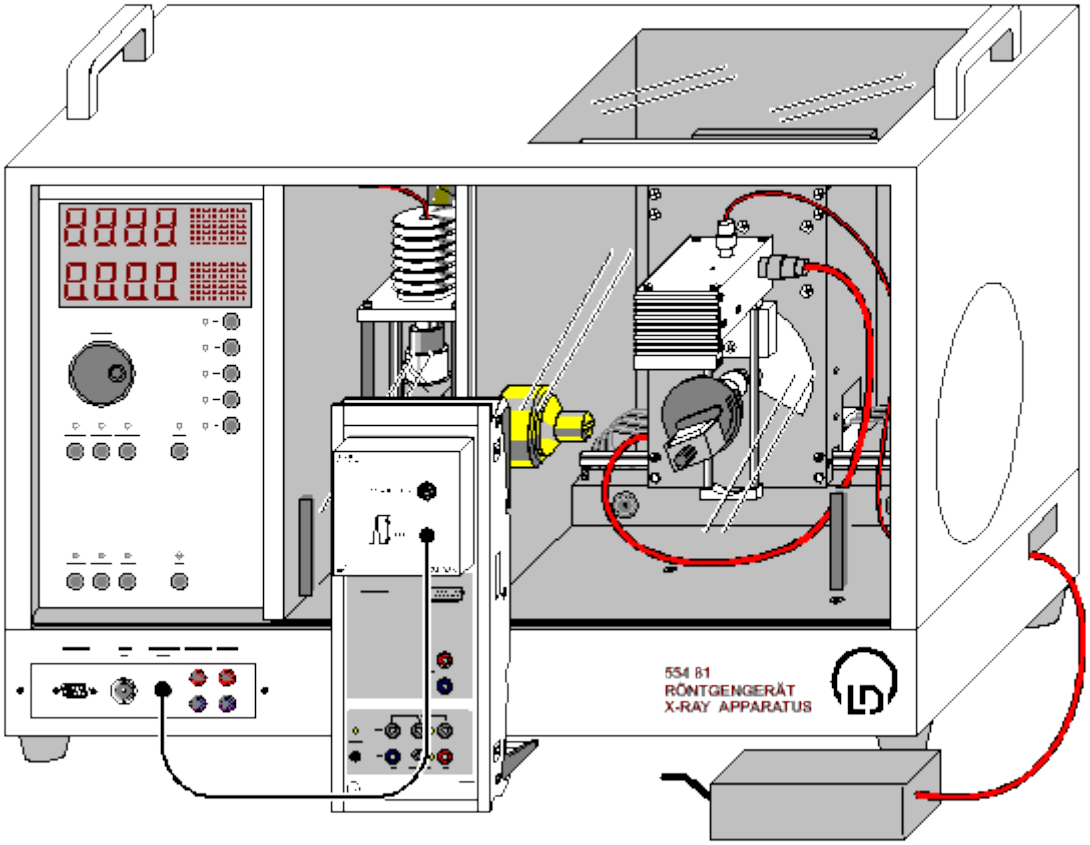
è proporzionale alle perdite di energia per unità di volume dovute alla magnetizzazione e smagnetizzazione del materiale, l'area compresa all'interno del diagramma Φ(I)

$$\int \Phi \cdot \mathrm{d}I = \int N_2 A B \cdot \frac{L}{N_1} \cdot \mathrm{d}H$$
$$= \frac{N_2}{N_1} V \int B \cdot \mathrm{d}H = \frac{N_2}{N_1} E$$

fornisce esattamente le perdite di energia E per isteresi nel caso in cui $N_1 = N_2$.

Dal diagramma del ciclo d'isteresi, mediante "integrazione picco", si può calcolare l'energia dissipata nel nucleo ferromagnetico.

Analisi non distruttiva della composizione chimica (fluorescenza di raggi X)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Note di sicurezza

L'apparecchio a raggi X risponde a tutte le disposizioni sulla struttura di un apparecchio a raggi X, è dispositivo completamente protetto per uso didattico ed è un modello approvato per l'uso scolastico in Germania (BfS 05/07 V/Sch RöV o NW 807 / 97 Rö).

Le protezioni e le schermature incorporate riducono il tasso di dose esterno all'apparecchio a raggi X a meno di 1 µSv/h, che è dell'ordine di grandezza della radiazione naturale di fondo.

- Prima di mettere in funzione l'apparecchio a raggi X, verificare eventuali danni e controllare che l'alimentazione sia spenta se le porte scorrevoli sono aperte (Vedere istruzioni per l'uso dell'apparecchio a raggi X).
- Proteggere l'apparecchio a raggi X dall'accesso di persone non autorizzate.

Evitare il surriscaldamento dell'anodo del tubo a raggi X.

- All'accensione dell'apparecchio a raggi X, verificare che il ventilatore della camera del tubo entri in rotazione.

Il goniometro viene posizionato solamente con i motori elettrici passo passo.

- Non bloccare il braccio del bersaglio e il braccio del sensore e non forzare il loro movimento.

Descrizione dell'esperimento

Quando un campione viene irradiato con fotoni di raggi X ad alta energia emette righe di raggi X caratteristiche la cui energia dipende dal numero atomico dell'elemento del materiale campione. Questa dipendenza è l'oggetto degli esempi sperimentali della legge di Moseley (Riga K e Riga L della fluorescenza di raggi X)

Se un campione è un composto o una miscela chimica, anche il suo spettro di fluorescenza sarò complesso. Poiché i livelli elettronici interni fra quelli che avviene la transizione dei raggi X non sono coinvolti nei legami chimici, le righe caratteristiche sono largamente indipendenti dai legami chimici nell'elemento. Questo significa che gli spettri della fluorescenza dei raggi X dei composti chimici sono, in prima approssimazione, una sovrapposizione degli spettri dei suoi componenti.

Per l'analisi qualitative della composizione chimica di un campione, inizialmente tutti i picchi trovati nello spettro di fluorescenza sono correlate agli elementi. Questo si ottiene dalla media dei valori delle energie delle righe caratteristiche trovati nella tabella. Per la correlazione, viene considerato anche il "modello" di ciascuna delle serie spettrali: per esempio, nello spettro con la riga K_α ci deve essere anche la riga K_β con una minore intensità (circa da un quinto a un decimo). La riga L_α compare accompagnata dalla riga L_β della stessa intensità e dalla riga L_γ di minore intensità.

Informazioni sulle concentrazioni relative ai singoli elementi del composto si possono ottenere dalle intensità relative alle loro righe di fluorescenza.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box MCA	524 058
1	Apparecchio a raggi X con tubo al Mo	554 801 o 554 811
1	Serie di bersagli di leghe	554 848
1	Rilevatore di energia dei raggi X	559 938
1	Cavo HF, 1 m	501 02
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

- Guidare il cavo di collegamento per l'alimentatore da tavolo attraverso il canale vuoto dell'apparecchio a raggi X e collegarlo alla mini boccola del rilevatore di energia dei raggi X.
- Fissare il porta sensore con montato il rivelatore di energia dei raggi X sul braccio per sensore del goniometro.
- Collegare l'uscita del segnale del rivelatore dell'energia dei raggi X alla boccola BNC SIGNAL IN dell'apparecchio a raggi X mediante il cavo BNC incluso.
- Fornire abbastanza cavo di collegamento per rendere possibile una rotazione completa del braccio del sensore
- Premere il pulsante SENSOR e, usando la manopola ADJUST, regolare un angolo del sensore di 90° manualmente.
- Regolare le distanze fra l'apertura della fenditura del collimatore e l'asse di rotazione come quella fra l'asse di rotazione e la finestra del rivelatore di energia dei raggi X entrambe da 5 a 6 cm
- Premere il pulsante TARGET e regolare l'angolo del bersaglio manualmente usando la manopola rotante ADJUST a 45°.
- Collegare Sensor-CASSY al computer ed inserire il Box MCA
- Collegare l'uscita SIGNAL OUT sul pannello di connessione dell'apparecchio a raggi X al box MCA mediante il cavo BNC.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Collegare l'alimentatore da tavolo alla rete (dopo circa 2 min il LED diventerà verde ed il rivelatore di energia dei raggi X sarà pronto per l'uso).
- Porre il bersaglio di calibrazione (piastra di acciaio galvanizzato) contenuto nella fornitura per il rivelatore di energia dei raggi X sul tavolo
- Selezionare l'alta tensione per il tubo U = 35 kV, la corrente di emissione I = 1,00 mA e accendere l'alta tensione
- Avviare la misura con **F9**
- Quindi registrare gli spettri di quattro bersagli della serie di bersagli di leghe

Calibrazione energia

La calibrazione dell'energia degli spettri è fatta usando lo spettro del bersaglio di calibrazione (Fe+Zn).

- Aprire nel menu del diagramma (pulsante destro del mouse) o selezionare con **Alt+E** la Calibrazione energia, selezionare **calibrazione energia globale** e inserire sul lato destro delle energie della riga K_α (6,40 keV) del Fe e della riga K_α (8,64 keV) dello Zn. Non chiudere la finestra **calibrazione energia**.
- Nel menu del diagramma selezionare sotto alter valutazioni Calcolare centro di picco, segnare la riga K_α del Fe e inserire il risultato nel lato sinistro della Calibrazione energia (p.es. con trascina & incolla dalla linea di stato)
- Quindi determinare il centro per la riga K_α dello Zn ed inserire anche questo nel lato sinistro
- Chiudere la finestra **calibrazione energia**
- Nominare le **energie dei raggi X** per identificarle e per l'identificazione delle righe nel menu del diagramma o usando **Alt+X** e cliccare sul simbolo dell'elemento **Fe**, selezionare **Adotta**, ciccare su **Zn** e chiudere la finestra ciccando su **OK**.

Diventa evidente che quattro dei picchi misurati sono stati causati dalla fluorescenza dei componenti principali Fe e Zn della piastra di acciaio galvanizzato.

Valutazione

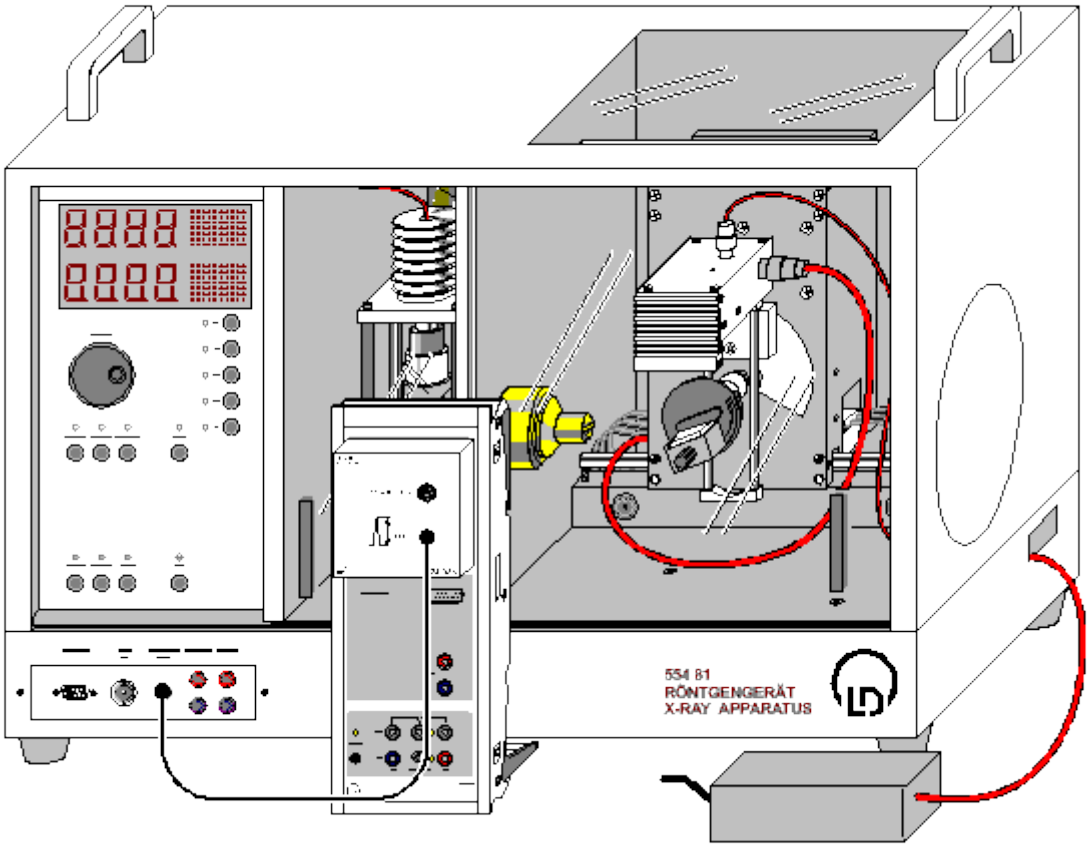
Per l'identificazione dei componenti delle leghe:

- Selezionare spettro e segnare una sezione appropriata
- Nel menu del diagramma o usando **Alt+X** selezionare la finestra **energie dei raggi X** e cliccare sul simbolo dell'elemento e determinare un elemento adeguato mediante i contrassegni visualizzati nella tabella.
- Porre il contrassegno cliccando **Adotta** e determinare alter componenti della lega

I risultati dell'analisi qualitativa delle leghe mediante i loro spettri per fluorescenza di raggi X corrisponde alla composizione chimica conosciuta:

- Bersaglio 1: Acciaio inossidabile X5CrNi18-10 – contiene 72 % Fe, 18 % Cr, 10 % Ni.
- Bersaglio 2: Ottone CuZn36 - contiene 64 % Cu, 36 % Zn.
- Bersaglio 3: Ottone CuZn39Pb3 - contiene 58 % Cu, 39 % Zn, 3% Pb.
- Bersaglio 4: Magnete Praseodimio-samario-cobalto. Questi magneti possono, in aggiunta a Co, Sm, Pr, contenere anche Fe, Cu e Zr. Si possono trovare anche le righe K del bromio, che vengono originate dal ritardo di accensione nel supporto in plastica.

Determinazione della composizione chimica di un campione di ottone (fluorescenza a raggi X)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Note di sicurezza

L'apparecchio a raggi X risponde a tutte le disposizioni sulla struttura di un apparecchio a raggi X, è dispositivo completamente protetto per uso didattico ed è un modello approvato per l'uso scolastico in Germania (BfS 05/07 V/Sch RöV o NW 807 / 97 Rö).

Le protezioni e le schermature incorporate riducono il tasso di dose esterno all'apparecchio a raggi X a meno di 1 µSv/h, che è dell'ordine di grandezza della radiazione naturale di fondo.

- Prima di mettere in funzione l'apparecchio a raggi X, verificare eventuali danni e controllare che l'alimentazione sia spenta se le porte scorrevoli sono aperte (Vedere istruzioni per l'uso dell'apparecchio a raggi X).
- Proteggere l'apparecchio a raggi X dall'accesso di persone non autorizzate.

Evitare il surriscaldamento dell'anodo del tubo a raggi X.

- All'accensione dell'apparecchio a raggi X, verificare che il ventilatore della camera del tubo entri in rotazione.

Il goniometro viene posizionato solamente con i motori elettrici passo passo.

- Non bloccare il braccio del bersaglio e il braccio del sensore e non forzare il loro movimento.

Quando per bersaglio si utilizzano metalli pesanti o sostanze allergiche, osservare le istruzioni per il loro uso.

Descrizione dell'esperimento

In questo esperimento, viene eseguita l'analisi quantitative della composizione chimica di un campione di ottone contenente piombo. i componenti in questa lega erano già identificati nell'esperimento Analisi non distruttiva della composizione chimica.

Per calcolare i rapporti di massa, si è avvalso del fatto che l'altezza di un picco e proporzionale al numero n di atomi da irradiare. Nello spettro di riferimento questo numero n_0 è determinato dalla densità della sostanza ρ, il suo peso atomico A, la superficie irradiate S e lo spessore effettivo d dello strato irradiato:

$n_0 = S \cdot d \cdot \rho / A$.

Per il numero di atomi di ogni tipo nella lega, in prima approssimazione può essere usata l'espressione

$n = n_0 \cdot H/H_0 = V \cdot \rho / A \cdot H/H_0$

In questa H e H_0 sono le altezze del picco nello spettro da analizzare e nello spettro di riferimento è $V = S \cdot d$ il volume irradiato. Usando questa informazione, il rapporto della massa C_i dell'elemento numero i nella lega è

$$C_i = \frac{n_i \cdot A_i}{\sum n_i \cdot A_i} = \frac{\rho_i \cdot \frac{H_i}{H_{0i}}}{\sum \rho_i \cdot \frac{H_i}{H_{0i}}}$$

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box MCA	524 058
1	Apparecchio per raggi X con tubo al Mo	554 801 o 554 811
1	Serie di bersagli di leghe	554 848
1	Serie di bersagli per fluorescenza di righe K	554 844
1	Serie di bersagli per fluorescenza di righe L	554 846
1	Rivelatore di energia dei raggi X	559 938
1	Cavo BNC, 1 m	501 02
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

- Guidare il cavo di collegamento per l'alimentatore da tavolo attraverso il canale vuoto dell'apparecchio a raggi X e collegarlo alla mini boccola del rilevatore di energia dei raggi X.
- Fissare il porta sensore con montato il rivelatore di energia dei raggi X sul braccio per sensore del goniometro.
- Collegare l'uscita del segnale del rivelatore dell'energia dei raggi X alla boccola BNC SIGNAL IN dell'apparecchio a raggi X mediante il cavo BNC incluso.
- Fornire abbastanza cavo di collegamento per rendere possibile una rotazione completa del braccio del sensore
- Premere il pulsante SENSOR e, usando la manopola ADJUST, regolare un angolo del sensore di 90° manualmente.
- Regolare le distanze fra l'apertura della fenditura del collimatore e l'asse di rotazione come quella fra l'asse di rotazione e la finestra del rivelatore di energia dei raggi X entrambe da 5 a 6 cm
- Premere il pulsante TARGET e regolare l'angolo del bersaglio manualmente usando la manopola rotante ADJUST a 45°.
- Collegare Sensor-CASSY al computer ed inserire il Box MCA
- Collegare l'uscita SIGNAL OUT sul pannello di connessione dell'apparecchio a raggi X al box MCA mediante il cavo BNC.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Collegare l'alimentatore da tavolo alla rete (dopo circa 2 min il LED diventerà verde ed il rivelatore di energia dei raggi X sarà pronto per l'uso).
- Porre il bersaglio 3 (ottone contenente piombo) dalla serie dei bersagli di leghe sul tavolo
- Selezionare l'alta tensione per il tubo U = 35 kV, la corrente di emissione I = 1,00 mA e accendere l'alta tensione
- Avviare la misura con **F9**
- Quindi registrare gli spettri per i bersagli Cu, Zn e Pb dalla serie di bersagli di leghe per fluorescenza di righe K e righe L come spettri di riferimento

Calibrazione energia

La calibrazione energia è effettuata usando gli spettri del rame e del piombo (spettri di riferimento).

- Aprire nel menu del diagramma (pulsante destro del mouse) o selezionare con **Alt+E** la Calibrazione energia, selezionare **calibrazione energia globale** e inserire sul lato destro delle energie della riga K_α (8,04 keV) del Cu e della riga L_α (10,56 keV) del Pb. Non chiudere la finestra **calibrazione energia**.
- Nel menu del diagramma selezionare sotto alter valutazioni Calcolare centro di picco, segnare la riga K_α del Cu e inserire il risultato nel lato sinistro della calibrazione energia (p.es. con trascina & incolla dalla linea di stato)
- Quindi determinare il centro per la riga L_α del Pb ed inserire anche questo nel lato sinistro
- Chiudere la finestra **calibrazione energia**

Valutazione

Per identificare ed etichettare le righe nello spettro dell'ottone:

- Nel menu del diagramma o usando **Alt+X** aprire la finestra **energie dei raggi X** e cliccare sul simbolo dell'elemento per il rame (**Cu**) e selezionare **Adotta**
- Quindi inserire le righe di Zinco (**Zn**) e Piombo (**Pb**)

Diventa evidente che il secondo picco più alto nello spettro consiste di due righe non risolte: Zn K_α e Cu K_β. La riga Cu K_β è in parte sovrapposta alla riga Zn K_α.

I rapporti di massa dei componenti della lega sono calcolati confrontando le altezze delle righe più forti nella fluorescenza dello spettro dell'ottone e degli spettri di riferimento. Queste righe sono: il rame K_α, lo zinco K_α e il piombo L_α.

Per le determinazione delle altezze del Cu K_α e dello Zn K_α, lo spettro di fluorescenza dell'ottone deve essere risolto nel campo di energia da 7,5 keV a 9,1 keV. Per questo lo spettro in questo campo è fittato con tre curve gaussiane di uguale larghezza nelle energie conosciute della Cu K_α (E = 8,04 keV), la riga Cu K_β (8,91 keV) e la riga Zn K_α (8,64 keV). Il modo migliore per fare questo è usare il fit Gaussiane di energie specificate in Altre valutazioni. Selezionando l'area, si deve osservare che tutte le tre righe di energie richieste devono essere contenute nell'area (non includere la riga Pb L_l-line).

Il risultato è un contorno fittato dello spettro di fluorescenza. Le altezze determinate H sono trovate nella linea di stato e sono inserite nel diagramma **Rapporto di massa** (p.es. con trascina & incolla) con le densità ρ per Cu (ρ = 8,96 g/cm^3), Zn (ρ = 7,10 g/cm^3) e Pb (ρ = 11,34 g/cm^3).

Lo stesso si applica alle altezze H_0 per i tre spettri di riferimento. Una volta inserite le tre densità e le sei altezze, i tre rapporti di massa sono automaticamente calcolati.

I rapporti determinati dei componenti della lega nel campione di ottone corrispondono alla composizione chimica conosciuta (CuZn39Pb3).

Elemento	Determinato	Sperimentale
Rame	58 %	61,6 %
Zinco	39 %	35,6 %
Piombo	3 %	2,9 %

Informazioni aggiuntive

L'esempio della lega rame-zinco (ottone) mostra come la fluorescenza secondaria modifica il tipo di spettro. Durante l'irradiazione di un tale campione con fotoni di raggi X, le righe K di entrambi rame e zinco sono eccitate. Ma poiché la riga K_β dello zinco (E = 9,57 keV) si trova sopra il bordo K del rame (E = 8,99 keV), si può anche eccitare "secondariamente" la riga L del rame.

Inoltre, nella radiazione di fluorescenza emessa, l'intensità delle righe del rame sono più alte della riga Zn K_β, e il rapporto delle righe Zn K_α e K_β non corrisponde al rapporto trovato nello zinco puro. Per questa ragione, il rapporto di massa dei componenti della lega determinati dalle righe K_α indica una proporzione lievemente troppo alta di rame.

Esempi di esperimenti di chimica

Gli esperimenti proposti forniscono un utile supporto per l'uso di CASSY Lab. Dove possibile, viene fornito il corrispondente numero di esperimento. I dati delle misure o i vari settaggi si possono caricare direttamente da CASSY Lab. È sufficiente cliccare sui pulsanti riportati nella descrizione. I nuovi esperimenti sono indicati con un punto rosso •.

Chimica Inorganica

- Il bruciatore Bunsen
- C1.3.1.6a Misura del pH negli alimenti
- C1.3.1.6b Misura del pH nei detersivi
- C1.3.1.7 Determinazione del pKa dell'acido acetico
- C1.3.1.8 Titolazione dell'acido fosforico

Chimica Analitica

- Punto di fusione e di solidificazione dell'acido palmitico
- Sopraffusione del tiosolfato di sodio fuso
- C3.1.4.5 Determinazione della massa molare mediante abbassamento del punto di congelamento
- Titolazione dell'acido cloridrico con una soluzione di soda caustica (pH e conducibilità)
- C3.3.7.2 Titolazione dell'aceto domestico
- Titolazione dell'acido acetico con una soluzione di soda caustica (pH e conducibilità)
- Titolazione automatica di NH3 con NaH2PO4 (buretta a stantuffo)
- Titolazione automatica (contatore in discesa)
- C3.4.4.1 Gascromatografia (separazione degli alcheni dai gas leggeri)
- C3.4.4.2 Gascromatografia (separazione degli alcooli)
- C3.4.4.3 Gascromatografia (separazione dell'aria)
- Registrazione dello spettro di una soluzione di clorofilla grezza (con lo spettrofotometro 667 3491)

Chimica Fisica

- Reazione del marmo con acido cloridrico (determinazione del contenuto di carbonato)
- Scissione dell'urea mediante ureasi (reazione di ordine zero)
- C4.3.2.3 Idrolisi del cloruro di butile (determinazione dell'ordine di reazione)
- Reazione del marmo con acido cloridrico (determinazione dell'ordine di reazione)
- C4.3.2.4 Idrolisi alcalina dell'acetato di etile (determinazione dell'ordine di reazione)
- Idrolisi alcalina dell'acetato di etile (determinazione dei parametri di attivazione)
- C4.4.3.5 Analisi termica differenziale del solfato di rame
- Preparazione di una miscela refrigerante
- C4.4.4.5 Determinazione dell'entalpia di fusione del ghiaccio
- Leggi dei gas
- C4.6.1.1 Determinazione della conducibilità di soluzioni differenti
- C4.6.1.4 Determinazione della conducibilità equivalente limite del cloruro di sodio
- C4.6.1.5 Determinazione della costante di dissociazione dell'acido acetico

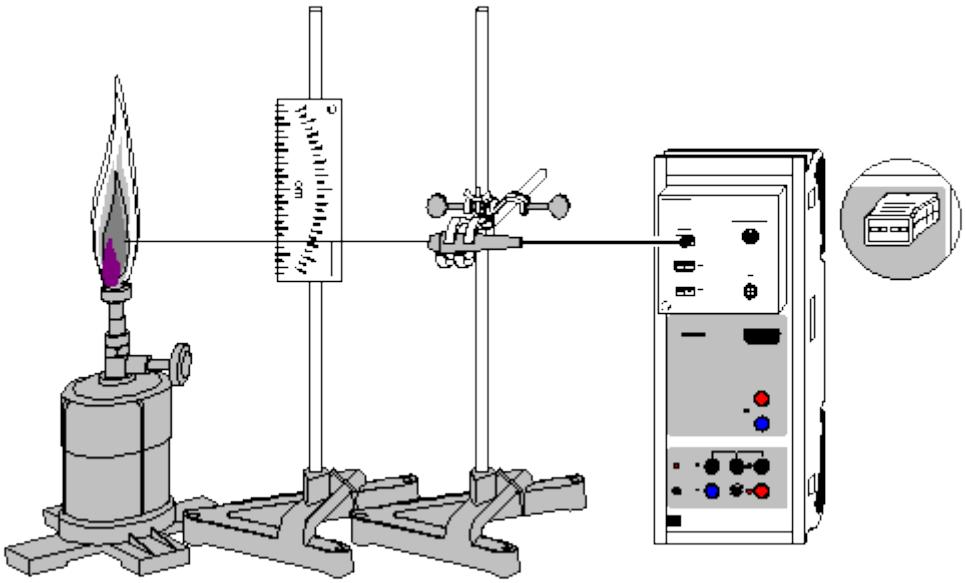
Chimica Tecnica

- Separazione di un miscuglio di due componenti con l'apparecchio di rettificazione CE2

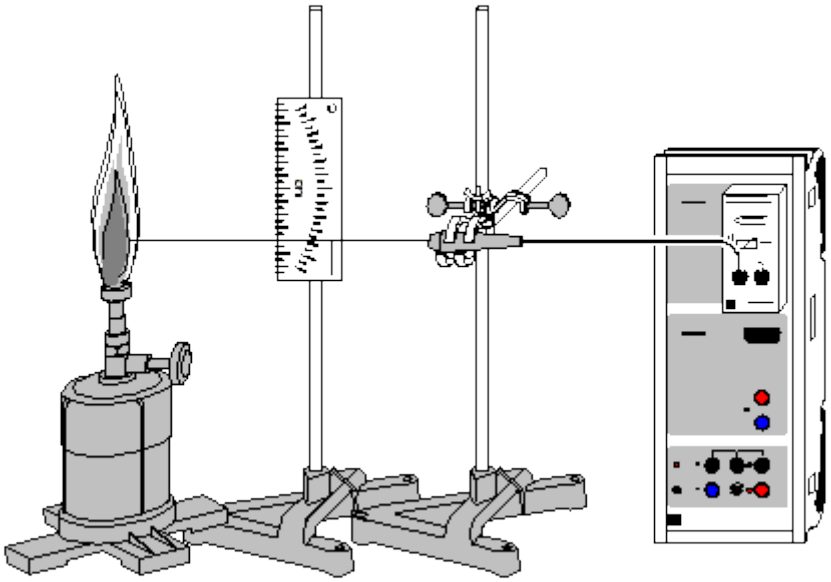
Tecnica dell'Ambiente

- Assorbimento della radiazione UV
- C6.1.4.3 Simulazione del buco dell'ozono
- C6.1.4.4 Effetto Serra di CO2

Il bruciatore Bunsen



In alternativa con il box di temperatura:



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Norme di sicurezza

- Pericolo di bruciature. Legare i capelli all'indietro per evitare che la fasciatura possa prendere fuoco accidentalmente e tenerla lontana dalla fiamma.
- Se per eccesso di aria si ha un ritorno di fiamma, chiudere immediatamente l'erogatore del gas.
- Se il bruciatore non viene usato per parecchio tempo, regolare la luminosità della fiamma e ridurre il flusso di gas.
- Non collocare il bruciatore ai bordi del tavolo.

Descrizione dell'esperimento

Il bruciatore di gas è un dispositivo molto usato nei laboratori di chimica. Esso è formato da un cilindro che permette di regolare l'erogazione dell'aria. Il gas può circolare nel cilindro attraverso un beccuccio. In base alle sue caratteristiche costruttive, la corrente d'aria si regola con una manopola oppure tramite un'apertura regolabile. Chiudendo la corrente d'aria, si ottiene una fiamma di colore compreso tra il giallo e l'arancio che raggiunge una temperatura di 600 °C. In presenza di una corrente d'aria, il gas mescolato all'aria produce una fiamma irregolare poco luminosa e di colore bluastro che raggiunge temperature molto elevate. La temperatura nei vari punti della fiamma dipende dalla distanza dal becco del bruciatore e si può determinare con un sensore di temperatura NiCr-Ni.

Elenco delle apparecchiature (con il box di chimica o l'adattatore NiCr-Ni S)

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di chimica o adattatore NiCr-Ni S	524 067(3)
1	Sensore di temperatura NiCr-Ni, tipo K	529 676
1	Bruciatore a gas, per es.	666 714
2	Basi di appoggio a V, 20 cm	300 02
2	Aste di sostegno, 47 cm	300 42
1	Doppia scala	340 82
1	Blocco a morsetto MF	301 25
2	Supporti a gancio con spina	314 04
1	Morsetto a croce	666 543
1	Pinza piccola	666 551
	Fiammiferi o accendino	
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Elenco delle apparecchiature (in alternativa con il box di temperatura)

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di temperatura	524 045
1	Sensore di temperatura NiCr-Ni, spina DIN	666 193
1	Bruciatore a gas, per es.	666 714
2	Basi di appoggio a V, 20 cm	300 02
2	Aste di sostegno, 47 cm	300 42
1	Doppia scala	340 82
1	Blocco a morsetto MF	301 25
2	Supporti a gancio con spina	314 04
1	Morsetto a croce	666 543
1	Pinza piccola	666 551
	Fiammiferi o accendino	
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

Inserire il box di chimica (oppure, alternativamente, il box di temperatura) nell'ingresso A di Sensor-CASSY, quindi collegare il sensore di temperatura all'ingresso T_1.

Utilizzando il materiale di sostegno, realizzare due postazioni: con il blocco a morsetto ed i supporti a gancio fissare la doppia scala ad un'asta di sostegno in modo che l'origine della scala sia alla stessa altezza del becco del bruciatore. Mediante la pinza piccola fissare il sensore di temperatura all'altra asta di sostegno ed allinearlo orizzontalmente.

Posizionare le due aste di sostegno in prossimità del bruciatore in modo da leggere sulla scala graduata il dislivello tra la sonda del sensore di temperatura ed il becco del bruciatore. Collocare il sensore di temperatura immediatamente sopra l'apertura del bruciatore. Nel posizionare le due aste di sostegno, fare attenzione a regolare la distanza della termocoppia dalla fiamma in modo da non bruciarla.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

Nota: Con i sensori di temperatura NiCr-Ni si possono misurare, rispettivamente, temperature fino a 1150 °C (sensore di temperatura per box di chimica) o 1100 °C (sensore di temperatura per box di temperatura).

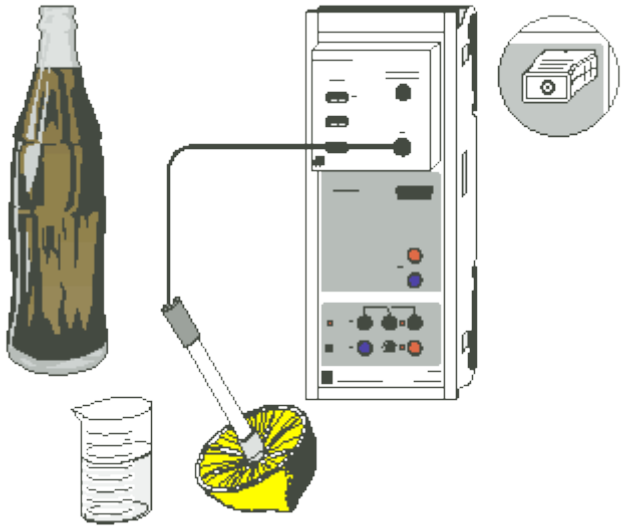
- Accendere il bruciatore; inizialmente, esso eroga una fiamma luminosa (corrente d'aria chiusa). Quindi aprire l'aria fino ad ottenere una fiamma irregolare.
- Posizionare il sensore di temperatura in corrispondenza dell'estremo superiore della scala graduata. Controllare che la punta del sensore si trovi esattamente allo stesso livello del centro della fiamma.
- Attendere che il risultato della misura si sia stabilizzato (±5 °C). Registrare il valore premendo il tasto **F9** oppure il pulsante . Mediante lo strumento di visualizzazione accessibile tramite il pulsante ϑ_{A11} che si trova nel bordo superiore dello schermo, è possibile visualizzare a pieno schermo i valori istantanei della temperatura e consentirne la lettura a tutte le persone che si trovano a debita distanza.
- Cliccare sulla corrispondente cella della tabella ed inserire con la tastiera il risultato della misura associato alla distanza del sensore dal becco del bruciatore.
- Con i tasti **Alt+V** selezionare un'altra zona della fiamma di colore diverso (cono esterno: debolmente bluastro, cono interno: blu), quindi, mediante il mouse, marcare le varie posizioni con una linea verticale. A ciascuna posizione si può associare un testo mediante i tasti **Alt+T**,
- Raggiunta la zona blu della fiamma, eseguire le misure ad intervalli di 0,5 cm.

Valutazione dei risultati

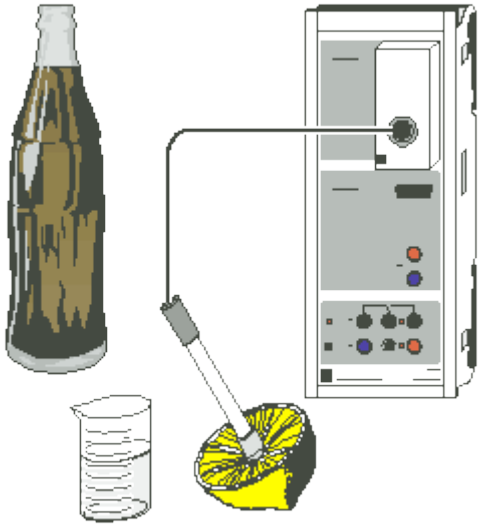
Come prevedibile, nella zona centrale della fiamma la temperatura è più alta rispetto alla zona superiore. La temperatura della fiamma nella zona blu che si trova immediatamente sopra il foro d'uscita del bruciatore è molto più bassa della temperatura raggiunta pochi centimetri sopra, cioè dove la fiamma assume un colore debolmente bluastro. Da questo si deduce che la combustione del gas è completa al di sopra della zona in cui la fiamma assume il colore blu.

Negli esperimenti di chimica, il fatto che la fiamma erogata dal bruciatore assume temperature diverse nei vari punti comporta sicuramente dei vantaggi. In particolare, se sono necessarie temperature molto elevate, bisogna eseguire il riscaldamento utilizzando la zona della fiamma che si trova immediatamente al di sopra di quella di colore blu. Se invece sono richieste temperature più basse, si utilizza la zona della fiamma che si trova a maggiore distanza dal becco del bruciatore.

Misura del pH negli alimenti



Alternativamente con il box di pH:



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

In questo esperimento si vuole analizzare il valore del pH degli alimenti ed in particolare quello delle bevande.

Il valore del pH è una misura del livello acido o basico di una soluzione. Questo parametro è definito come valore negativo del logaritmo decimale della concentrazione degli ioni H_3O^+ in una soluzione d'acqua:

$pH = - \lg c(H_3O^+)$

La concentrazione degli ioni H_3O^+ dipende dalla dissociazione dell'acqua secondo l'equazione di equilibrio:

$H_2O + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$

Nelle soluzioni diluite, l'equilibrio non dipende dalla concentrazione delle molecole d'acqua; a 25 °C, l'equilibrio è costante:

$K = c(H_3O^+) \cdot c(OH^-) = 10^{-14}\ mol^2/l^2$

Questo significa che la concentrazione degli ioni idrogeno e la concentrazione degli ioni ossidrili in una soluzione dipende dall'equilibrio della dissociazione dell'acqua; tale equilibrio risulta sempre uguale a $10^{-14}\ mol^2/l^2$. Nelle soluzioni acide (prevalenza di ioni idrogeno) il valore del pH è compreso tra 0 e 7; nelle soluzioni basiche (prevalenza di ioni ossidrili) il valore del pH è compreso tra 7 e 14.

La misura del pH costituisce una dei più importanti metodi d'indagine usati nelle analisi chimiche. Questa misura viene utilizzata, ad esempio, per il monitoraggio della qualità dell'acqua, per determinare la concentrazione delle soluzioni acide e basiche, per il monitoraggio dei processi manifatturieri (per esempio, prodotti alimentari, sostanze soggette a deterioramento, colori e vernici) e per determinare l'inquinamento dell'aria (pioggia acida). Il valore del pH svolge un ruolo molto importante in molti processi biochimici come, ad esempio, la digestione.

Elenco delle apparecchiature (con il box di chimica o l'adattatore per pH S)

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di chimica o adattatore per pH S	524 067(2)
1	Elettrodo del pH con connettore BNC	667 4172
1	Sensore di temperatura NiCr-Ni (se necessario)	529 676
1	Becher, 250 ml, basso	664 130
1	Coltello da laboratorio	667 018
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Elenco delle apparecchiature (alternativamente con il box di pH)

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di pH	524 035
1	Elettrodo del pH ad asta singola	667 424
1	Becher, 250 ml, basso	664 130
1	Coltello da laboratorio	667 018
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Sostanze richieste

Acqua di rubinetto
Sostanze alimentari/bevande, per esempio:
- acqua minerale con e senza anidride carbonica
- acqua del boiler
- bevande frizzanti/coca
- succo di frutta
- 1 limone
- caffè
- diversi tipi di te
- aceto
- olio di cucina
- latte

Soluzione buffer pH 4,00 per es. 250 ml	674 4640
Soluzione buffer pH 7,00 per es. 250 ml	674 4670

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

Inserire il box di chimica nell'ingresso A di Sensor-CASSY con collegato l'elettrodo del pH.

Alternativamente, inserire il box di pH nell'ingresso A di Sensor-CASSY con collegato l'elettrodo del pH ad asta singola.

Preparare delle bevande calde (caffè, te) e fare in modo che esse si siano raffreddate sufficientemente rispetto alla temperatura iniziale. Se le soluzioni sono ancora troppo calde e se si utilizza il box di chimica, si può collegare all'ingresso T_1 un sensore di temperatura. In questo caso, l'elettrodo del pH ed il sensore di temperatura vanno immersi entrambi nella soluzione. CASSY Lab calcola automaticamente il valore del pH alla temperatura di 25 °C.

Tagliare il limone con il coltello e raccogliere il succo in un contenitore. Il contenitore deve essere sufficientemente profondo in modo da potervi immergere l'elettrodo del pH fino al diaframma.

Leggere attentamente la Scheda Istruzioni dell'elettrodo del pH.

Calibrazione

Per ottenere dalla misura dei risultati precisi, bisogna calibrare l'elettrodo del pH quando viene usato per la prima volta. Successivamente, la calibrazione va ripetuta di tanto in tanto:

- Carica settaggi
- Selezionare **Corretto** in Settaggi pHA1.
- Sciacquare l'elettrodo del pH con acqua distillata, immergerlo nella soluzione buffer pH 7,00 ed agitarlo brevemente.
- Inserire 7,00 come primo valore di riferimento. Quando i risultati della misura si sono stabilizzati, premere il pulsante **Offset Corretto**.
- Sciacquare l'elettrodo del pH con acqua distillata, immergerlo nella soluzione buffer pH 4,00 ed agitarlo brevemente.
- Inserire 4,00 come secondo valore di riferimento. Quando i risultati della misura si sono stabilizzati, premere il pulsante **Fattore Corretto**.
- Contrassegnare Sensor-CASSY, l'elettrodo del pH ed il box di chimica o del pH in modo da poterli usare successivamente collegandoli allo stesso ingresso (altrimenti la calibrazione memorizzata non è più valida).

Esecuzione dell'esperimento

- Carica i settaggi di calibrazione

Analizzare nell'ordine: acqua di rubinetto, acqua minerale, bevande frizzanti/coca, succhi di frutta, limone, te, caffè, latte, aceto, olio procedendo in questo modo:

- Versare il liquido nel becher (lasciare il succo di limone nel contenitore per la misura).
- Immergere l'elettrodo del pH in modo che il diaframma sia completamente immerso ed attendere che venga visualizzato un valore stabile.
- Registrare il risultato della misura premendo il tasto **F9** o il pulsante .
- Nel diagramma, mediante i tasti **Alt+T**, aggiungere una intestazione al risultato della misura specificando il nome della sostanza esaminata.
- Buttare la sostanza (non berla!) e sciacquare accuratamente il becher.

Valutazione dei risultati

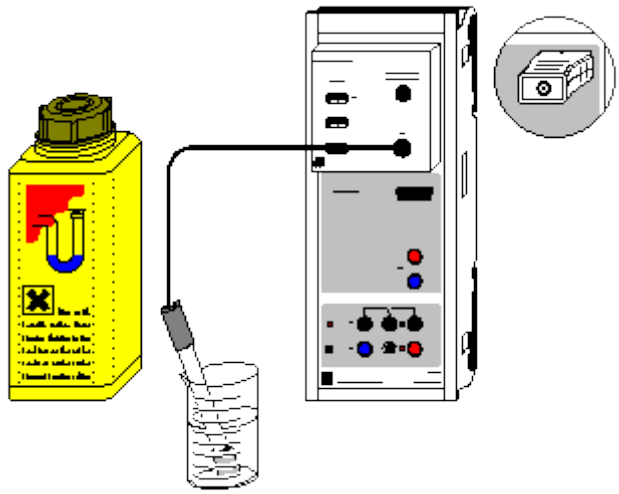
Quasi tutti i liquidi esaminati in questo esperimento hanno un pH minore di 8, cioè sono di natura acida o neutra. Bevande come succhi di frutta, te alla frutta e le bevande frizzanti hanno un pH compreso tra 2,5 e 4; questo significa che esse sono chiaramente acide. Una soluzione con pH uguale ad 8,9, quindi nettamente basica, si ottiene riscaldando acqua in una caldaia con le pareti piene di incrostazioni; in questo caso, le particelle di carbonato di calcio sciolte nell'acqua aumentano il pH di circa 2 volte rispetto a quello dell'acqua di rubinetto.

Normalmente, le bevande contenenti del succo di frutta presentano proprietà acide abbastanza evidenti. Questo si può osservare molto bene se si fa il confronto con i due tipi di te analizzati in questo esempio. Il carattere acido è dovuto agli acidi contenuti nella frutta: acidi organici come l'acido citrico, l'acido maleico e l'acido tartarico. Alcuni di questi acidi intervengono anche nel metabolismo umano ed animale (ciclo dell'acido citrico). Analogamente ai succhi di frutta contenuti nelle bevande, anche l'acido carbonico (H_2CO_3) contenuto nell'acqua minerale conferisce a questa bevanda una debole acidità.

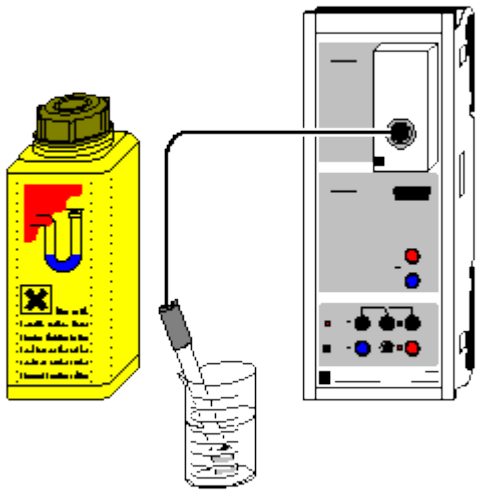
Poiché le sostanze alimentari citate precedentemente hanno prevalentemente carattere acido, è opportuno prendere in considerazione il processo di neutralizzazione di un acido o di una base. Cosa succede nello stomaco se vengono ingerite delle sostanze basiche? Probabilmente si può considerare il processo di neutralizzazione come un rimedio al bruciore di stomaco. (Maaloxan, bicarbonato di sodio, ecc.).

È possibile stampare il diagramma ottenuto mediante il simbolo di stampante che si trova nel bordo superiore dello schermo.

Misura del pH nei detersivi



Alternativamente con il box di pH:



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

In questo esperimento si vuole analizzare il valore del pH dei detersivi. In base al tipo d'impiego, il pH dei vari detersivi copre l'intera scala dei valori.

Il valore del pH è una misura del livello acido o basico di una soluzione. Questo parametro è definito come valore negativo del logaritmo decimale della concentrazione degli ioni H_3O^+ in una soluzione d'acqua:

$pH = - \lg c(H_3O^+)$

La concentrazione degli ioni H_3O^+ dipende dalla dissociazione dell'acqua secondo l'equazione di equilibrio:

$H_2O + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$

Nelle soluzioni diluite, l'equilibrio non dipende dalla concentrazione delle molecole d'acqua; a 25 °C, l'equilibrio è costante:

$K = c(H_3O^+) \cdot c(OH^-) = 10^{-14}\ mol^2/l^2$

Questo significa che la concentrazione degli ioni idrogeno e la concentrazione degli ioni ossidrili in una soluzione dipende dall'equilibrio della dissociazione dell'acqua; tale equilibrio risulta sempre uguale a 10^{-14} mol^2/l^2. Nelle soluzioni acide (prevalenza di ioni idrogeno) il valore del pH è compreso tra 0 e 7; nelle soluzioni basiche (prevalenza di ioni ossidrili) il valore del pH è compreso tra 7 e 14.

La misura del pH costituisce una dei più importanti metodi d'indagine usati nelle analisi chimiche. Questa misura viene utilizzata, ad esempio, per il monitoraggio della qualità dell'acqua, per determinare la concentrazione delle soluzioni acide e basiche, per il monitoraggio dei processi manifatturieri (per esempio, prodotti alimentari, sostanze soggette a deterioramento, colori e vernici) e per determinare l'inquinamento dell'aria (pioggia acida). Il valore del pH svolge un ruolo molto importante in molti processi biochimici come, ad esempio, la digestione.

Elenco delle apparecchiature (con il box di chimica o l'adattatore per pH S)

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di chimica o adattatore per pH S	524 067(2)
1	Elettrodo del pH con connettore BNC	667 4172
1	Becher, 100 ml, alto	664 137
1	Coltello da laboratorio	667 018
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Elenco delle apparecchiature (alternativamente con il box di pH)

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di pH	524 035
1	Elettrodo del pH ad asta singola	667 424
1	Becher, 100 ml, alto	664 137
1	Coltello da laboratorio	667 018
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Sostanze richieste

Acqua di rubinetto
Detersivi, per esempio:
  sapone liquido
  detersivi contenenti acido acetico
  tubo di scarico
 detersivi ecologicamente compatibili
Per confronto:
  aceto
  1 limone

Soluzione buffer pH 4,00 per es. 250 ml	674 4640
Soluzione buffer pH 7,00 per es. 250 ml	674 4670

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

Inserire il box di chimica nell'ingresso A di Sensor-CASSY con collegato l'elettrodo del pH.

Alternativamente, inserire il box di pH nell'ingresso A di Sensor-CASSY con collegato l'elettrodo del pH ad asta singola.

Tagliare il limone con il coltello e raccogliere il succo in un contenitore. Il contenitore deve essere sufficientemente profondo in modo da potervi immergere l'elettrodo del pH fino al diaframma.

Leggere attentamente la Scheda Istruzioni dell'elettrodo del pH.

Calibrazione

Per ottenere dalla misura dei risultati precisi, bisogna calibrare l'elettrodo del pH quando viene usato per la prima volta. Successivamente, la calibrazione va ripetuta di tanto in tanto:

- Carica settaggi
- Selezionare **Corretto** in Settaggi pHA1.
- Sciacquare l'elettrodo del pH con acqua distillata, immergerlo nella soluzione buffer pH 7,00 ed agitarlo brevemente.

- Inserire 7,00 come primo valore di riferimento. Quando i risultati della misura si sono stabilizzati, premere il pulsante **Offset Corretto**.
- Sciacquare l'elettrodo del pH con acqua distillata, immergerlo nella soluzione buffer pH 4,00 ed agitarlo brevemente.
- Inserire 4,00 come secondo valore di riferimento. Quando i risultati della misura si sono stabilizzati, premere il pulsante **Fattore Corretto**.
- Contrassegnare Sensor-CASSY, l'elettrodo del pH ed il box di chimica o del pH in modo da poterli usare successivamente collegandoli allo stesso ingresso (altrimenti la calibrazione memorizzata non è più valida).

Esecuzione dell'esperimento

Carica i settaggi di calibrazione

In questo esperimento, analizzare i vari detersivi procedendo in questo modo:

- Attenendosi alla norme di sicurezza e al dosaggio riportato sulla confezione (eseguire il dosaggio in base alla capacità del becher da 100 ml), preparare nel becher la soluzione da esaminare. Se il detersivo va usato non diluito, versare nel becher meno liquido possibile (circa 30 ml).
- Lasciare il succo di limone nel contenitore usato per la misura.
- Immergere l'elettrodo del pH in modo che il diaframma sia completamente immerso ed attendere che venga visualizzato un valore stabile.
- Registrare il risultato della misura premendo il tasto **F9** o il pulsante .
- Nel diagramma, mediante i tasti **Alt+T**, aggiungere una intestazione al risultato della misura specificando il nome della sostanza esaminata.
- Buttare la sostanza e sciacquare accuratamente il becher con acqua di rubinetto.

Valutazione dei risultati

In base al loro uso, i vari detersivi hanno un pH che varia da valori fortemente acidi a valori fortemente basici.

Alcuni particolari detersivi usati per eliminare i depositi di calcare e per la pulizia delle stanze da bagno hanno un pH relativamente basso; esso corrisponde ad una soluzione di acido idroclorico con concentrazione di circa 0,3 mol/l. L'eliminazione del calcare si ottiene per effetto della reazione del $CaCO_3$ con l'acido:

$$CaCO_3 + 2H_3O^+ \xrightarrow[aq.]{} Ca^{2+} + CO_2 \uparrow + 3H_2O$$

Poiché a causa della loro acidità questi detersivi sono molto corrosivi, le istruzioni riportate sulla destra della confezione consigliano di indossare i guanti di protezione.

I detersivi ecologicamente compatibili che contengono acido citrico non riescono a sciogliere il $CaCO_3$ mediante le proprietà di questo acido, ma attraverso la formazione di un composto di acido citrico e ioni calcio solubile in acqua. In questo modo si può evitare l'uso dei detersivi che hanno un pH troppo basso.

Poiché i saponi con caratteristiche basiche possono danneggiare la pelle, attualmente, al posto dei saponi basici si utilizzano saponi liquidi con caratteristiche neutre in grado di sciogliere le sostanze grasse della pelle. Questo si deduce dal valore del pH del sapone liquido analizzato nel corso dell'esperimento il quale è risultato approssimativamente neutro. Tuttavia, poiché la pelle umana è debolmente acida (pH circa uguale a 5,5), il sapone liquido provoca una modesta irritazione della pelle.

Tra i detersivi fortemente basici troviamo, soprattutto, gli scarichi dei lavandini nei quali non si può intervenire meccanicamente per eliminare i depositi di grasso e di capelli. Questi scarichi contengono una elevata concentrazione di idrossido di sodio (NaOH) al quale, molto spesso, si aggiungono gli ipocloriti come agenti ossidanti, ad es. NaOCl. Gli scarichi che contengono ipocloriti non possono venire a contatto con altri detersivi, poiché quando si aggiungono degli acidi al NaOCl ed al sale comune, sempre presente negli scarichi, si genera un gas ricco di cloro fortemente corrosivo:

$$NaOCl + NaCl + 2H_3O^+ \rightarrow 2Na^+ + 3H_2O + Cl_2 \uparrow$$

Quando si esegue la misura del pH in un tubo di scarico fortemente basico utilizzando un normale elettrodo, il valore del pH viene alterato dal cosiddetto errore alcalino. A partire da valori del pH di

circa 12, gli elettrodi di vetro forniscono un valore minore di quello effettivo, tuttavia si può ritenere che il tubo di scarico analizzato abbia sempre caratteristiche fortemente basiche.

Come alternativa, attualmente vengono installati tubi di scarico realizzati con materiale basato su degli enzimi con caratteristiche pressoché neutre. Nell'esempio, è stato preso in considerazione un detersivo in grado di sciogliere i grassi per via enzimatica. In questo modo si ottengono condizioni pressoché neutre per cui le acque di scarico risultano molto meno contaminate.

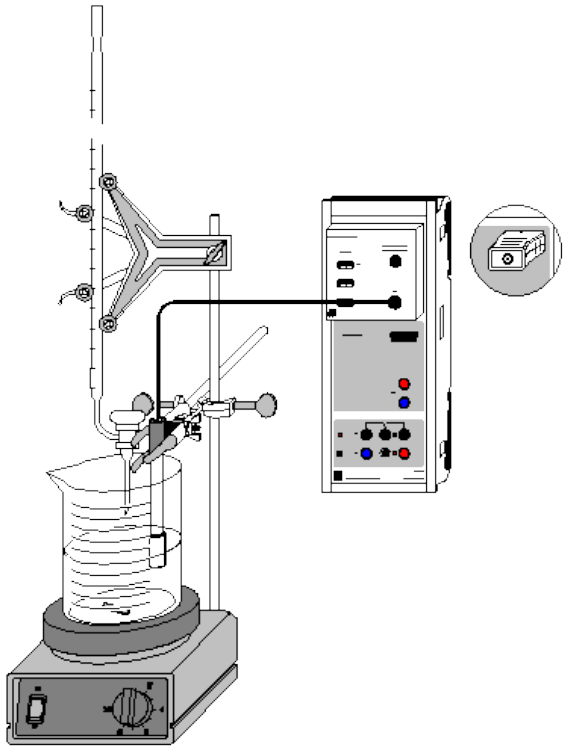
È possibile stampare il diagramma ottenuto mediante il simbolo di stampante che si trova nel bordo superiore dello schermo.

Altri possibili esperimenti

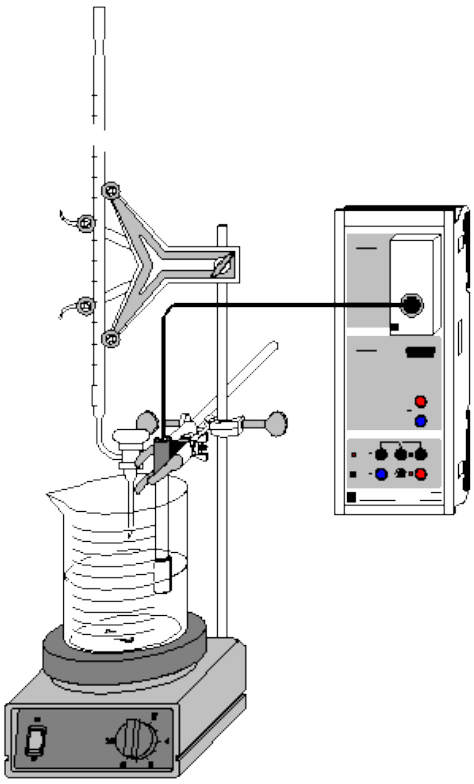
È possibile analizzare anche il pH di altre sostanze usate nella vita di tutti i giorni.

- Inserendo un elettrodo con diaframma conico si possono analizzare le scaglie di sapone e vari tipi di creme.
- Mediante un elettrodo con diaframma piatto si può determinare il pH della pelle umana prima e dopo il lavaggio con sapone; questo serve a valutare se la nostra pelle è in grado di tollerare tali sostanze.

Determinazione del pK_a dell'acido acetico



Alternativamente con il box di pH:



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

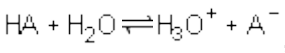
Carica esempio

Attenzione

Gli acidi e le basi sono sostanze corrosive. Indossare occhiali di protezione e guanti resistenti agli acidi.

Descrizione dell'esperimento

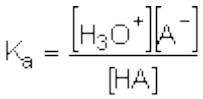
Il pK_a è un parametro che caratterizza la concentrazione di un acido debole o moderatamente forte; questo valore si determina mediante la curva di titolazione con una base forte. Partendo dall'equazione di dissociazione dell'acido,



a metà equivalenza (quando metà dell'acido reagisce con la base) si ottiene:

$[A^-] = [HA]$.

Dall'equazione di equilibrio



si deduce che in questo caso

Quindi, per conoscere il valore di pK_a bisogna determinare il punto di equivalenza e quello a metà equivalenza della titolazione.

Elenco delle apparecchiature (con il box di chimica o l'adattatore per pH S)

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di chimica o adattatore per pH S	524 067(2)
1	Elettrodo del pH con connettore BNC	667 4172
1	Agitatore magnetico	666 845
1	Becher, 250 ml, basso	664 130
1	Asta di sostegno, 450 mm, filettatura M10	666 523
1	Pipetta graduata, 10 ml	665 997
1	Sfera per pipetta	666 003
1	Buretta, 25 ml	665 845
1	Buretta ad imbuto	665 816
1	Morsetto per buretta	666 559
1	Morsetto a croce	666 543
1	Morsetto universale	666 551
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Elenco delle apparecchiature (alternativamente con il box di pH)

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di pH	524 035
1	Elettrodo del pH ad asta singola	667 424
1	Agitatore magnetico	666 845
1	Becher, 250 ml, basso	664 130
1	Asta di sostegno, 450 mm, filettatura M10	666 523
1	Pipetta graduata, 10 ml	665 997
1	Sfera per pipetta	666 003
1	Buretta, 25 ml	665 845
1	Buretta ad imbuto	665 816
1	Morsetto per buretta	666 559
1	Morsetto a croce	666 543
1	Morsetto universale	666 551
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Sostanze chimiche

Acido acetico, c = 0,1 mol/l	per es. 500 ml: 671 9560
Soluzione di soda caustica, c = 0,1 mol/l	per es. 500 ml: 673 8410
Soluzione buffer pH 4,00	per es. 250 ml: 674 4640
Soluzione buffer pH 7,00	per es. 250 ml: 674 4670
Acqua distillata	

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

Inserire il box di pH con l'elettrodo del pH nell'ingresso A di Sensor-CASSY a sua volta collegato al PC.

Assemblare il sistema di titolazione utilizzando il materiale di sostegno, l'agitatore magnetico, il becher e la buretta. Versare nel becher circa 100 ml di acqua distillata ed aggiungere con la pipetta esattamente 10 ml di acido acetico 0,1 M. Mediante l'imbuto, versare la nella buretta la soluzione di soda caustica 0,1 M fino al segno zero.

Inserire l'elettrodo del pH facendo in modo che il lato del diaframma di misura sia immerso completamente ed il lato con la membrana di vetro non venga danneggiato dalla rotazione della barra dell'agitatore. Per individuare il punto di equivalenza, aggiungere come indicatore alcune gocce di una soluzione di fenolftaleina.

Calibrazione

Per ottenere dalla misura dei risultati precisi, bisogna calibrare l'elettrodo del pH quando viene usato per la prima volta. Successivamente, la calibrazione va ripetuta di tanto in tanto:

- Carica settaggi
- Selezionare **Corretto** in Settaggi pHA1.
- Sciacquare l'elettrodo del pH con acqua distillata, immergerlo nella soluzione buffer pH 7,00 ed agitarlo brevemente.
- Inserire 7,00 come primo valore di riferimento. Quando i risultati della misura si sono stabilizzati, premere il pulsante **Offset Corretto**.
- Sciacquare l'elettrodo del pH con acqua distillata, immergerlo nella soluzione buffer pH 4,00 ed agitarlo brevemente.
- Inserire 4,00 come secondo valore di riferimento. Quando i risultati della misura si sono stabilizzati, premere il pulsante **Fattore Corretto**.
- Contrassegnare Sensor-CASSY, l'elettrodo del pH ed il box di pH in modo da poterli usare successivamente collegandoli allo stesso ingresso (altrimenti la calibrazione memorizzata non è più valida).

Esecuzione dell'esperimento

- Carica i settaggi di calibrazione
- Se si vuole aggiungere la soluzione ad intervalli diversi da 0,2 ml, questo valore si può cambiare entrando in Settaggi V nel campo Formula, per es. inserendo "0,5*n-0,5" quando si vuole procedere ad intervalli di 0,5 ml.
- Determinare il primo valore della misura premendo il tasto **F9** o il pulsante .
- Aggiungere in continuazione e lentamente gocce di soluzione di soda caustica, registrare il valore del pH ad intervalli di 0,2 ml premendo il tasto **F9**.

Valutazione dei risultati

Nel punto di equivalenza ($V = V_{eq}$), tutto l'acido acetico ha reagito con la soluzione di soda caustica:

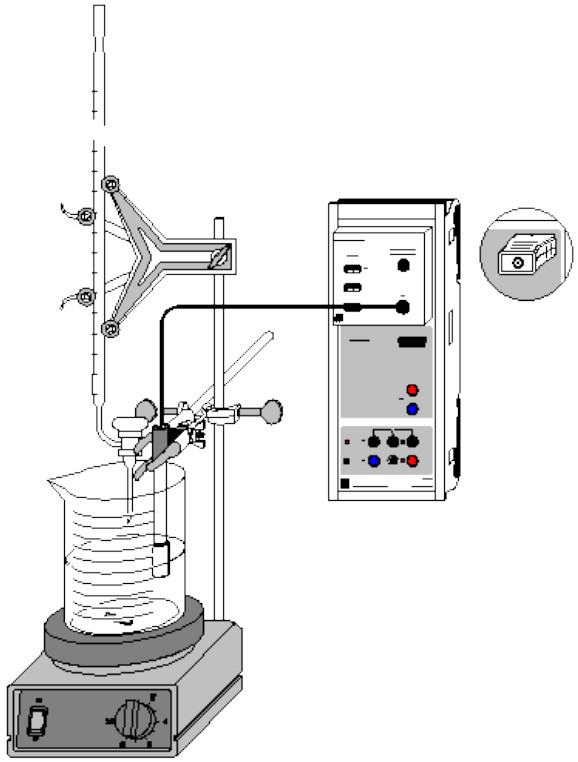
$HAc + NaOH \longrightarrow Na^+ + Ac^- + H_2O$

Per determinare esattamente il punto di equivalenza con CASSY-Lab, premere con il pulsante destro del mouse sul diagramma, selezionare **Trova Punto di equivalenza** nel menu **Altre Valutazioni**. Dopo aver marcato il range della curva, si ottiene la visualizzazione grafica del punto di equivalenza ed il valore di pK_a determinato tramite il punto di metà equivalenza ($V = V_{heq}$). I valori corrispondenti si possono scrivere sotto la linea di stato ed inserire come testo in un punto qualsiasi del diagramma.

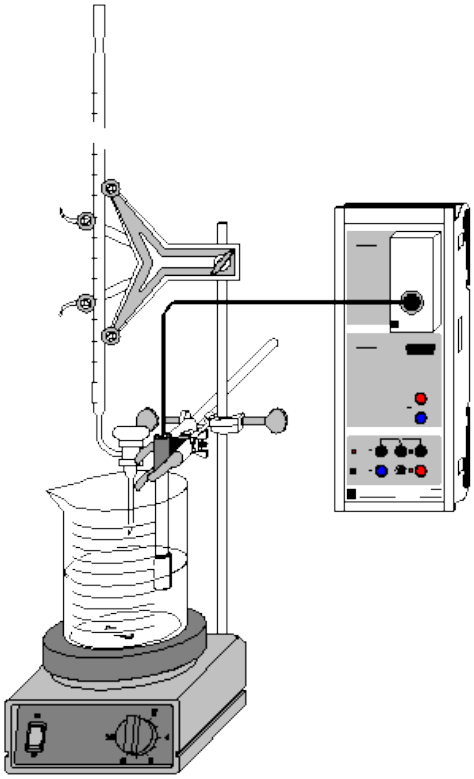
Altri possibili esperimenti

Mediante la neutralizzazione di una soluzione di acido idroclorico avente lo stesso pH della soluzione di acido acetico (circa 10 ml di HCl 0,01 M) e confrontando le due curve di titolazione, si può introdurre il concetto di soluzione buffer. L'acido idroclorico fortemente diluito viene neutralizzato dall'aggiunta di 1 ml di NaOH, mentre per neutralizzare un'identica soluzione di acido acetico sono necessari circa 10 ml di NaOH. La determinazione del valore del pK_a dell'acido idroclorico è poco significativa.

Titolazione dell'acido fosforico



Alternativamente con il box di pH:



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

☐ Carica esempio

Attenzione

Gli acidi e le basi sono sostanze corrosive. Indossare occhiali di protezione e guanti resistenti agli acidi.

Descrizione dell'esperimento

Il caratteristico andamento delle curve di titolazione degli acidi polibasici permette di determinare il valore del pK_a delle singole fasi di dissociazione utilizzando le parti di curve che hanno lo stesso andamento.

In soluzione acquosa, l'acido fosforico forma i seguenti equilibri:

1. $H_3PO_4 + H_2O \rightleftharpoons H_2PO_4^- + H_3O^+$ $(pK_{a1} = 2{,}1)$

2. $H_2PO_4^- + H_2O \rightleftharpoons HPO_4^{2-} + H_3O^+$ $(pK_{a2} = 7{,}1)$

3. $HPO_4^{2-} + H_2O \rightleftharpoons PO_4^{3-} + H_3O^+$ $(pK_{a3} = 12{,}3)$

Poiché nei vari casi i valori del pK_a differiscono fra loro di circa 5, si può ritenere che gli equilibri siano indipendenti uno dall'altro.

I punti di equivalenza della prima e della seconda fase della dissociazione si possono ricavare mediante titolazione con una soluzione di potassa caustica. Poiché KOH non è una base più forte dello ione fosfato, non si riesce a determinare il terzo punto di equivalenza perché non viene sufficientemente rispettata la parte destra dell'equilibrio 3. A questo risultato si può arrivare solo mediante titolazione del fosfato di potassio in soluzione acquosa, per es., con acido idroclorico.

Nel campo dei valori del pH riguardante la titolazione presa ora in considerazione (approssimativamente da pH 2 a pH 12), nella condizione di equilibrio di destra il fosfato rappresenta la componente basica della coppia acido-basica, mentre nella condizione di sinistra ha comportamento esclusivamente basico.

Elenco delle apparecchiature (con il box di chimica o l'adattatore per pH S)

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di chimica o adattatore per pH S	524 067(2)
1	Elettrodo del pH con connettore BNC	667 4172
1	Sensore di temperatura NiCr-Ni (se necessario)	529 676
1	Agitatore magnetico	666 845
1	Becher, 250 ml, basso	664 103
1	Asta di sostegno, 450 mm, filettatura M10	666 523
1	Pipetta graduata, 10 ml	665 997
1	Sfera per pipetta	666 003
1	Buretta, 50 ml	665 847
1	Buretta ad imbuto	665 816
1	Morsetto per buretta	666 559
2	Morsetti a croce	666 543
2	Morsetti universali piccoli	666 551
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Elenco delle apparecchiature (alternativamente con il box di pH)

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di pH	524 035
1	Elettrodo del pH ad asta singola	667 424
1	Agitatore magnetico	666 845
1	Becher, 250 ml, piatto	664 103
1	Asta di sostegno, 450 mm, filettatura M10	666 523
1	Pipetta graduata, 10 ml	665 997
1	Sfera per pipetta	666 003
1	Buretta, 50 ml	665 847

1	Buretta ad imbuto	665 816
1	Morsetto per buretta	666 559
1	Morsetto a croce	666 543
1	Morsetto universale piccolo	666 551
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Sostanze chimiche

Acido fosforico, 10 %, 100 ml	674 3440
Soluzione di potassa caustica, c = 1 mol/l, 1 l	672 4460
Soluzione buffer pH 4,00, 250 ml	674 4640
Soluzione buffer pH 7,00, 250 ml	674 4670
Acqua distillata	

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

Inserire il box di chimica con l'elettrodo del pH nell'ingresso A di Sensor-CASSY a sua volta collegato al PC. Se la temperatura è molto diversa da 25 °C, si raccomanda di collegare il sensore di temperatura all'ingresso T_1. Il valore della temperatura della soluzione ottenuto dalla misura è utilizzato automaticamente per compensare la tensione sull'elettrodo del pH.

Come alternativa al box di chimica, inserire il box di pH con l'elettrodo del pH ad asta singola nell'ingresso A di Sensor-CASSY.

Assemblare il sistema di titolazione utilizzando il materiale di sostegno, l'agitatore magnetico, il becher e la buretta.

Versare nel becher 100 ml di acqua distillata ed aggiungere con la pipetta 10 ml di una soluzione al 10% di acido fosforico (c(H_3PO_4) circa 1,1 mol/l). Attraverso l'imbuto, versare nella buretta la soluzione di potassa caustica 1 M fino a raggiungere il segno zero.

Inserire l'elettrodo del pH facendo in modo che un lato del diaframma di misura sia immerso completamente ed il lato con la membrana di vetro non venga danneggiato dalla rotazione della barra dell'agitatore. Per individuare il punto di equivalenza, aggiungere come indicatore alla soluzione alcune gocce di una miscela composta da metile rosso e fenolftaleina.

Calibrazione

Per ottenere dalla misura dei risultati precisi, bisogna calibrare l'elettrodo del pH quando viene usato per la prima volta. Successivamente, la calibrazione va ripetuta di tanto in tanto:

- Carica settaggi
- Selezionare **Corretto** in Settaggi pHA1.
- Sciacquare l'elettrodo del pH con acqua distillata, immergerlo nella soluzione buffer pH 7,00 ed agitarlo brevemente.
- Inserire 7,00 come primo valore di riferimento. Quando i risultati della misura si sono stabilizzati, premere il pulsante **Offset Corretto**.
- Sciacquare l'elettrodo del pH con acqua distillata, immergerlo nella soluzione buffer pH 4,00 ed agitarlo brevemente.
- Inserire 4,00 come secondo valore di riferimento. Quando i risultati della misura si sono stabilizzati, premere il pulsante **Fattore Corretto**.
- Contrassegnare Sensor-CASSY, l'elettrodo del pH, il box di chimica o di pH in modo da poterli usare successivamente collegandoli allo stesso ingresso (altrimenti la calibrazione memorizzata non è più valida).

Esecuzione dell'esperimento

- Carica i settaggi di calibrazione
- Se si vuole aggiungere la soluzione ad intervalli diversi da 0,5 ml, questo valore si può cambiare entrando in Settaggi V nel campo Formula, per es. inserendo "0,2*n-0,2" quando si vuole procedere ad intervalli di 0,2 ml.
- Determinare il primo valore della misura premendo il tasto **F9** o il pulsante .
- Procedendo lentamente, aggiungere goccia a goccia 40 ml di soluzione di potassa caustica e registrare il valore del pH ad intervalli di 0,5 ml premendo il tasto **F9**.

Valutazione dei risultati

I diagrammi ottenuti evidenziano diversi elementi caratteristici che corrispondono ai tre equilibri della dissociazione. I punti di equivalenza ($V = V_{eq}$) si determinano facilmente con CASSY Lab: premendo il pulsante destro del mouse sul diagramma **Standard** quindi, selezionati **Altre Valutazioni** e **Trova punto di equivalenza**, con marcare il range della curva si può determinare il punto di equivalenza. Dopo aver individuato tale range, vengono visualizzati automaticamente il punto di equivalenza ed il valore di pK_a; i valori corrispondenti sono scritti sotto la linea di stato e con il mouse si possono inserire come testo in un punto qualsiasi del diagramma.

Altre valutazioni

È possibile migliorare la visualizzazione delle regioni buffer. Questo si ottiene in diversi modi:

1. Nella rappresentazione **Valutazione Lineare**: dopo aver cliccato con il pulsante destro del mouse sul diagramma, selezionare **Funzione Interpolazione** e **Andamento lineare migliore**; quindi selezionare un piccolo tratto di curva in una delle regioni buffer simmetriche rispetto al punto di metà equivalenza V_{heq} determinato nel diagramma **Standard**. Come risultato si ottiene una retta la cui pendenza è uguale alla pendenza media del tratto di curva selezionato. Ripetere lo stesso procedimento nelle altre due regioni buffer. Dopo il primo ed il secondo punto di equivalenza, calcolare anche il terzo. Le tre rette ottenute debbono risultare quasi parallele fra loro secondo la formula generale delle regioni buffer

$$\left[H_3O^+\right] = \frac{K_a \cdot [HA]}{\left[A^-\right]}$$

(una eventuale piccola imprecisione può dipendere dalle variazioni di volume dovute all'aggiunta di KOH ed al fatto che è possibile superare i limiti del campo di misura dell'elettrodo di pH).

2. Nella rappresentazione **Valutazione Lineare**: mediante i tasti **Alt+F** dal menu **Interpolazione libera** si può definire una funzione di interpolazione. Inserire nella linea opportuna l'equazione generale della retta "A*x+B". Dopo **Continua con marcamento range**, cliccare su un piccolo tratto di curva simmetrico rispetto al secondo punto di metà equivalenza. Come risultato si ottiene una retta la cui pendenza A appare nella linea di stato. Inserire il valore **costante** di A nel menu **Interpolazione libera** (**Alt+F**) e marcare le zone corrispondenti agli altri due punti di metà equivalenza.

Se i risultati delle misure sono giusti, le regioni buffer in prossimità dei punti di metà equivalenza debbono avere la stessa pendenza ed essere rappresentate con delle rette.

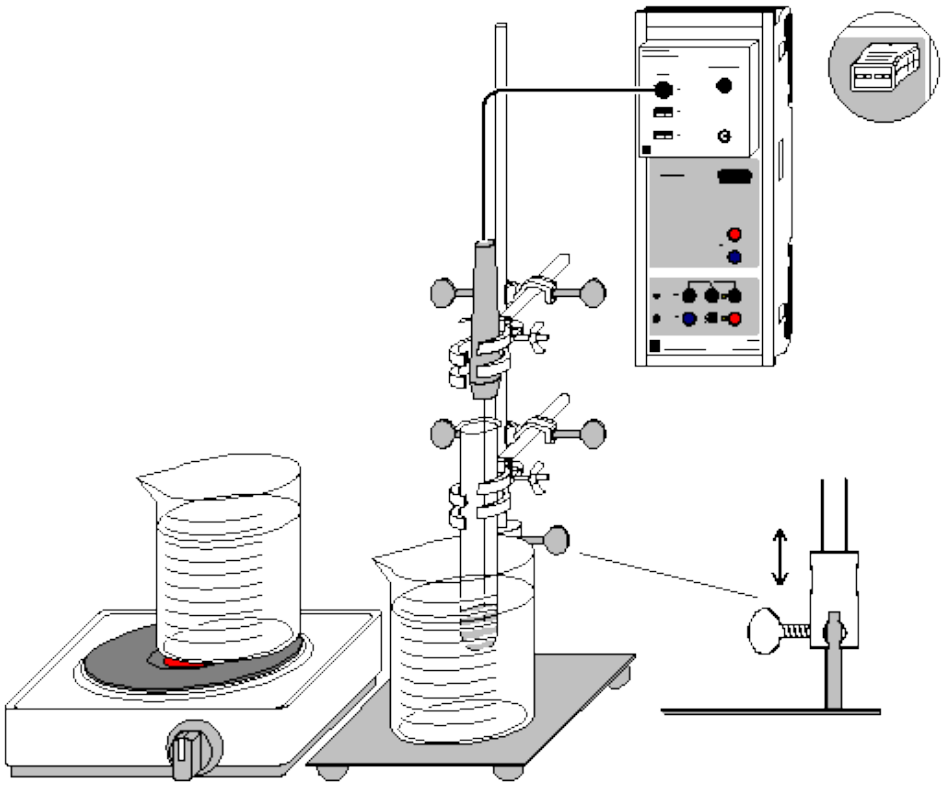
3. Nella rappresentazione **Curve di Bufferizzazione**: per riportare il valore del pH in funzione del grado di neutralizzazione N della rispettiva fase di dissociazione espresso in percento, inserire in Settaggi Veq1, Veq2 e Veq3 i volumi associati ai tre punti di equivalenza. Il grado di neutralizzazione è definito da

$$N = 100 \cdot \left[\frac{V}{V_{eq1}} \cdot (V \le V_{eq1}) + \frac{V - V_{eq1}}{V_{eq2} - V_{eq1}} \cdot ((V > V_{eq1}) \text{ and } (V < V_{eq2})) + \frac{V - V_{eq2}}{V_{eq3} - V_{eq2}} \cdot (V \ge V_{eq2}) \right]$$

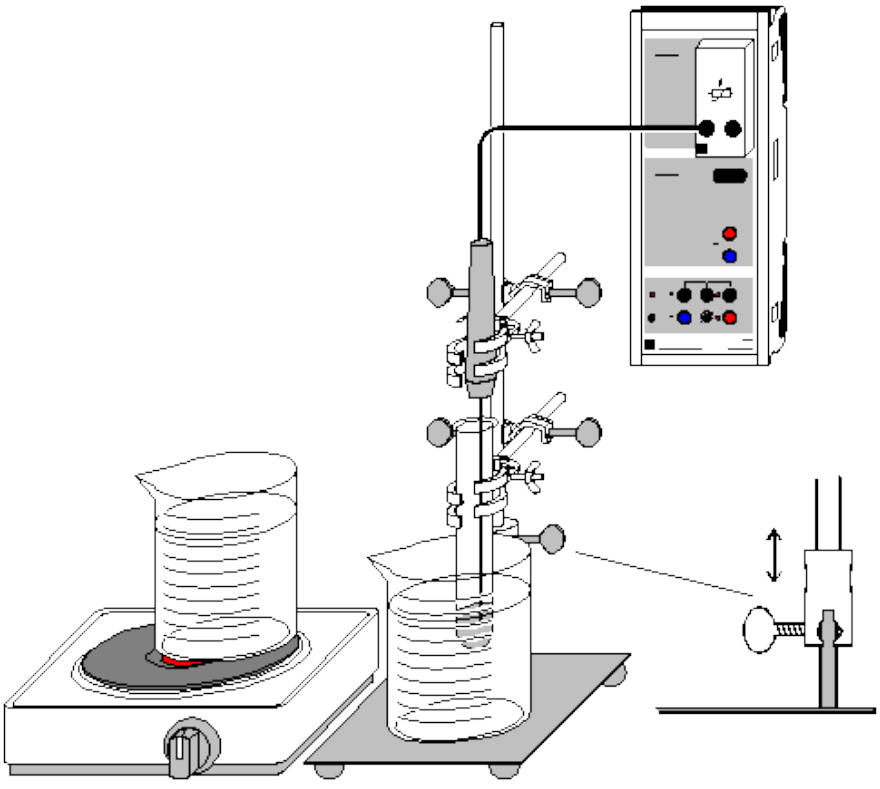
Esso descrive, in percento, come procede la neutralizzazione nelle rispettive fasi della dissociazione. L'espressione dei primi due termini all'interno delle parentesi quadre rappresenta il rapporto tra i volumi di ciascuna fase della dissociazione, la seconda espressione rappresenta i limiti entro i quali si deve calcolare tale rapporto.

Nella rappresentazione **Curve di Bufferizzazione** ($pH_{A1} = f(N)$), vengono tracciati uno sopra l'altro i diagrammi con le tre sezioni della curva di titolazione. Si può constatare la somiglianza di queste curve. Per ulteriori valutazioni, nel diagramma si può aggiungere una retta come spiegato precedentemente in modo da verificare la pendenza delle curve buffer.

Punto di fusione e di solidificazione dell'acido palmitico



In alternativa con il box di temperatura:



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

È possibile determinare il punto di fusione e di solidificazione di una sostanza registrando l'andamento della temperatura.

Elenco delle apparecchiature (con il box di chimica o l'adattatore NiCr-Ni S)

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di chimica o adattatore NiCr-Ni S	524 067(3)
1	Sensore di temperatura NiCr-Ni, tipo K	529 676
2	Becher, 250 ml, alti	664 113
1	Sostegno Bunsen	666 504
1	Tubo di sostegno, diam. 13 mm	666 607
1	Morsetto universale	666 615
2	Morsetti doppi	301 09
2	Pinze universali	666 555
1	Provetta	664 043
1	Spatola doppia	666 962
1	Piastra di riscaldamento, per es.	666 767
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Elenco delle apparecchiature (alternativamente con il box di temperatura)

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di temperatura	524 045
1	Sensore di Temperatura NTC	666 212
2	Becher, 250 ml, alti	664 113
1	Sostegno Bunsen	666 504
1	Tubo di sostegno, diam. 13 mm	666 607
1	Morsetto universale	666 615
2	Morsetti doppi	301 09
2	Pinze universali	666 555
1	Provetta	664 043
1	Spatola doppia	666 962
1	Piastra di riscaldamento, per es.	666 767
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Sostanze chimiche

1	Acido palmitico, 50 g	674 0500

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

- Riempire d'acqua un becher fino a circa ¾, metterlo sulla piastra di riscaldamento e scaldare fino ad 80 – 90 °C.
- Riempire con acido palmitico la provetta fino a 3 – 4 cm e scioglierlo nell'acqua calda.
- Mediante il morsetto universale far scorrere il tubo da 13 mm sul tubo da 10 mm come in un "telescopio". Fissare la provetta contenente acido palmitico ed il sensore di temperatura NTC al tubo da 13 mm in modo da posizionare il sensore al centro della provetta ed a circa 1 cm dal fondo (non deve toccare le pareti).
- Collegare il sensore di temperatura all'ingresso T_1 del box di temperatura. Inserire il box nell'ingresso A di Sensor-CASSY.
- Raffreddare il campione a circa 40 °C. Eseguire il raffreddamento in acqua fredda con il secondo becher.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

Note sulla calibrazione

A volte, si presenta la necessità di calibrare il sensore di temperatura. Per questa operazione, aprire Settaggi ϑA11 (pulsante destro del mouse) quindi, per eseguire la correzione, bisogna inserire i due

valori di riferimento 0 °C e 100 °C cliccando su **Offset Corretto** (sensore di temperatura immerso in un miscuglio di acqua e ghiaccio) e su **Fattore Corretto** (sensore immerso in acqua bollente).

- Mediante l'asta telescopica, immergere in acqua a circa 80 °C la provetta contenente acido palmitico solido con inserito il sensore di temperatura.
- Mediante programma, avviare la misura cliccando sul pulsante ad orologio (oppure con **F9**).
- Se la temperatura aumenta oltre i 60 °C, togliere il campione ed il sensore dall'acqua calda mediante il sostegno e metterlo in un becher contenente acqua fredda in modo da raffreddarlo rapidamente (è anche possibile mettere il campione in una corrente d'aria fredda, ma in questo caso il raffreddamento è più lento).
- Se la temperatura scende sotto il punto di solidificazione (circa 60 °C), arrestare la misura con **F9** o cliccare sul pulsante ad orologio.

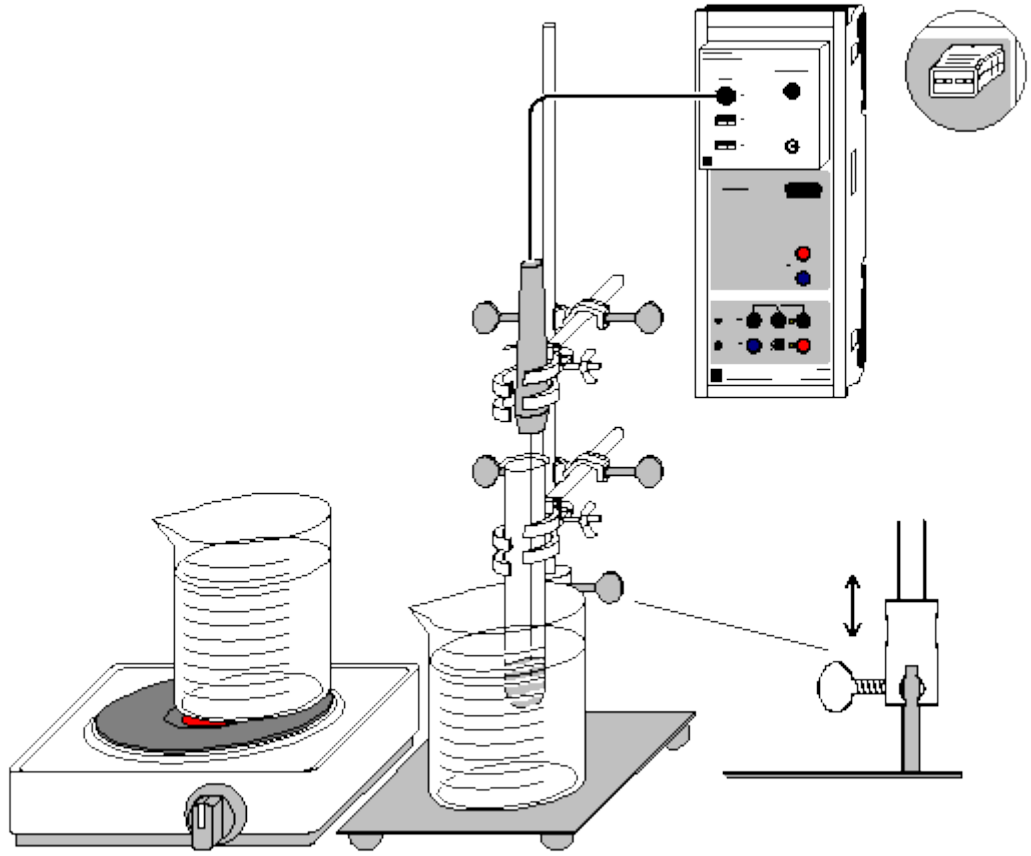
Valutazione dei risultati

- Per migliorare la visualizzazione del diagramma, si può variare l'area della finestra. Questo si ottiene cliccando sui due assi con il pulsante destro del mouse o utilizzando lo zoom.
- Per determinare e marcare i punti di fusione e di solidificazione, tracciare una linea orizzontale (per inserire la linea orizzontale come marker, cliccare sul grafico con il pulsante destro del mouse) e posizionarla in corrispondenza dell'intervallo a temperatura costante in cui avviene la solidificazione.
- Nel diagramma si può inserire come testo (cliccare sul diagramma con il pulsante destro del mouse, inserire il marker e selezionare il testo) il valore visualizzato nella linea di stato (pulsante sinistro). Volendo, è anche possibile editare il testo.

Altri possibili esperimenti

- Registrare il diagramma della temperatura di altre sostanze, per esempio, tiosolfato di sodio pentaidrato
- Confrontare i diagrammi della temperatura di diverse sostanze sovrapponendoli fra loro
- Confrontare il diagramma della temperatura della stessa sostanza, ma contenente diverse impurità
- Analizzare il comportamento di un miscuglio durante la fusione e la solidificazione al variare della sua composizione, determinare l'eutettico del miscuglio, preparare un diagramma delle fasi

Sopraffusione del tiosolfato di sodio fuso



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

La curva di fusione e di cristallizzazione del tiosolfato di sodio pentaidrato richiede alcuni accorgimenti. Questa sostanza fonde alla temperatura di circa 48 °C. Tuttavia, se è sufficientemente pura e tenuta in assenza di vibrazioni, essa cristallizza quando viene raffreddata molto rapidamente sotto i 30 °C. Durante la fase di solidificazione, la temperatura del tiosolfato di sodio aumenta ancora in prossimità del punto di fusione.

Dalla registrazione della curva di fusione e di cristallizzazione è possibile vedere molto bene le zone in cui avviene il cambiamento di stato (fusione, sopraffusione, cristallizzazione).

La sopraffusione di una sostanza già allo stato fuso si ha perché, a causa della mancanza di nuclei cristallini, la condizione di equilibrio tra fase solida e fase liquida si stabilisce in ritardo. Stati fisici, come quello di un liquido sopraffuso, sono termodinamicamente instabili ed inibiti cinematicamente; essi sono chiamati stati metastabili.

La proprietà del tiosolfato di sodio di formare uno stato liquido sopraffuso relativamente stabile e che si riscalda durante la solidificazione si utilizza per generare calore chimicamente. Le confezioni dei cibi e delle bevande che vanno servite calde (per es. le confezioni da viaggio) si possono scaldare in questo modo.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di chimica o adattatore NiCr-Ni S	524 067(3)
1	Sensore di temperatura NiCr-Ni, tipo K	529 676
2	Becher, 250 ml, bassi	664 103

1	Sostegno Bunsen	666 504
1	Tubo di sostegno, diam. 13 mm	666 607
1	Morsetto universale	666 615
2	Morsetti doppi	301 09
2	Morsetti universali piccoli	666 551
1	Provetta, per es.	664 043
1	Spatola doppia	666 962
1	Piastra di riscaldamento, per es.	666 767
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Sostanze chimiche

1	tiosolfato di sodio pentaidrato, per es. 100 g	673 8000

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

- Inserire il box di chimica nell'ingresso A di Sensor-CASSY con il sensore di temperatura collegato all'ingresso T_1.
- Riempire d'acqua i due becher fino a circa ¾. Mettere un becher sulla piastra di riscaldamento e mettere l'altro al suo fianco.
- Riempire la provetta con tiosolfato di sodio fino a 2 o 3 cm di altezza.
- Far scorre il tubo di 13 mm lungo l'asta di sostegno di 10 mm come un telescopio e bloccarlo con il morsetto universale.
- Mediante i morsetti universali piccoli, fissare la provetta ed il sensore di temperatura al tubo di 13 mm con la punta del sensore a pochi mm dal fondo e la provetta immersa per metà nella sostanza (non toccare le pareti della provetta).

Calibrazione

Per ottenere dalla misura dei risultati precisi, bisogna calibrare l'elettrodo del pH quando viene usato per la prima volta:

Carica settaggi

- Immergere il sensore di temperatura in un miscuglio di acqua e ghiaccio, inserire il valore di riferimento "0 °C" nella linea superiore di Settaggi ϑA11 sotto **Corretto** e cliccare su **Offset Corretto**.
- Immergere il sensore di temperatura in acqua bollente, inserire il valore "100 °C" nella linea superiore di Settaggi ϑA11 sotto **Corretto** e cliccare su **Fattore Corretto**. Eventualmente prendere in considerazione l'influenza della pressione atmosferica sul punto di ebollizione.
- Memorizzare sotto un nuovo nome i settaggi di calibrazione con **F2**.
- Contrassegnare Sensor-CASSY, il box di chimica ed il sensore di temperatura in modo da poterli usare sempre insieme, altrimenti la calibrazione memorizzata non è più valida.

Esecuzione dell'esperimento

- Utilizzare o caricare i settaggi di calibrazione.
- Chiudere l'interruttore della piastra di riscaldamento.
- Mediante il sostegno a telescopio, mettere la provetta con il sensore nel becher che si trova sulla piastra di riscaldamento.
- Avviare la misura premendo il tasto **F9** o il pulsante .
- Quando il tiosolfato di sodio è fuso completamente ed ha raggiunto una temperatura di circa 65 °C, togliere la provetta dall'acqua calda mediante il sostegno e metterla nel becher con acqua fredda in modo da raffreddarla più rapidamente possibile (alternativamente il campione si può raffreddare più lentamente in aria).
- Per raggiungere basse temperature di sopraffusione, fare in modo che l'assemblaggio non subisca urti o vibrazioni. D'altra parte, la cristallizzazione può iniziare e quindi proseguire scuotendo leggermente la provetta.
- Si raggiunge la massima temperatura di cristallizzazione estraendo la provetta dall'acqua all'inizio della cristallizzazione (ϑ_{A11} aumenta ancora) e continuando a scuotere la provetta.
- Ultimata la cristallizzazione del tiosolfato di sodio, arrestare la misura premendo il tasto **F9** o il pulsante .

Valutazione dei risultati

Nella curva si possono individuare diverse zone:

a) Riscaldamento della sostanza solida.

b) Campo di fusione del tiosolfato di sodio pentaidrato. Poiché il riscaldamento procede più velocemente rispetto all'instaurazione dell'equilibrio termodinamico, non si vede l'esatto punto di fusione, ma se ne vede solo un intervallo.

c) Riscaldamento della fusione.

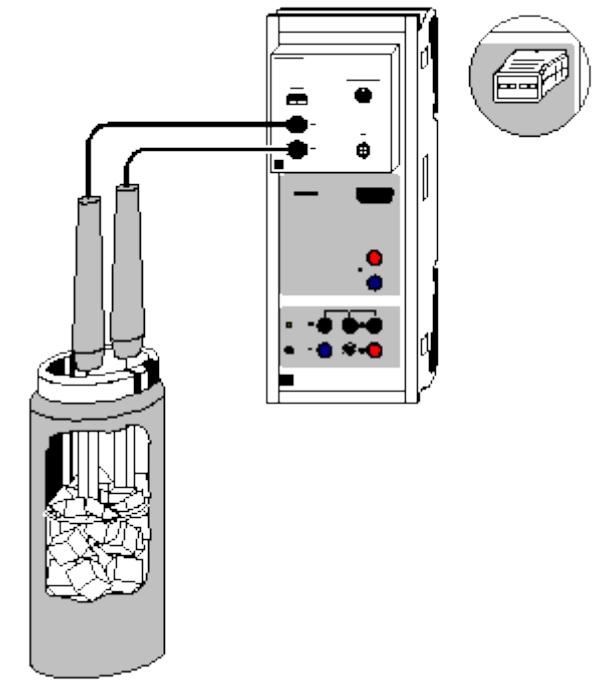
d) Raffreddamento della fusione. Si vede chiaramente che la temperatura scende sotto il campo di fusione senza presentare un intervallo in cui rimane costante, tipico di una fase di transizione.

e) Il minimo della curva della temperatura segna l'inizio della cristallizzazione del tiosolfato di sodio pentaidrato la quale comporta un aumento della temperatura fino alla temperatura di cristallizzazione. Quest'ultima si può determinare cliccando sul diagramma con il pulsante destro del mouse, selezionando **Traccia Valore Medio** e marcando la regione di cristallizzazione dove la temperatura massima risulta approssimativamente costante. Il valore medio della temperatura di cristallizzazione compare nella linea di stato e si può trascinare nel diagramma con il puntatore del mouse o mediante **Alt+T**.

f) Raffreddamento della sostanza completamente solidificata.

Inserendo nel diagramma delle linee verticali si possono separare meglio le diverse regioni della curva ottenuta sperimentalmente.

Determinazione della massa molare mediante abbassamento del punto di congelamento



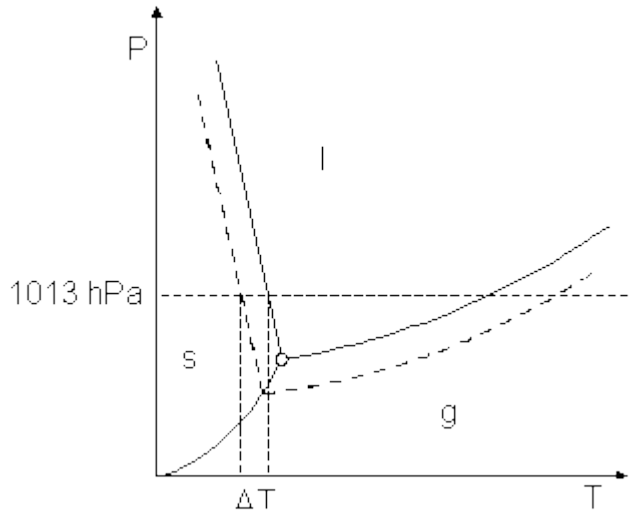
può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Un metodo relativamente semplice che consente di determinare la massa molare di una sostanza è dato dalla misura dell'abbassamento del punto di congelamento di una soluzione diluita ottenuta sciogliendo tale sostanza in un solvente. Tenute presenti le proprietà delle soluzioni diluite, l'abbassamento del punto di congelamento dipende soltanto dalla quantità di particelle della sostanza sciolta nel solvente, ma non dal tipo di particella.

Sciogliendo una sostanza in un solvente, nel diagramma delle fasi si ha uno spostamento delle linee di separazione tra la fase solida (s), la fase liquida (l), e la fase gassosa (g) (linea continua: solvente puro, linea tratteggiata: soluzione). Questo spostamento provoca un aumento del punto di ebollizione ed un abbassamento del punto di congelamento (ΔT) della soluzione rispetto al solvente puro.



Per il punto di congelamento si ha questa equazione

$$\Delta T = \left(\frac{R \cdot T^{*2} \cdot M_2}{\Delta H_f} \right) \cdot \frac{n_1}{m_2}$$

in cui R è la costante generale dei gas, T* ed M_2 sono il punto di congelamento e la massa molare del solvente puro, ΔH_f è l'entalpia molare della fusione. Il termine tra parentesi quadre si definisce costante crioscopica K_k, che è la caratteristica di ogni solvente. Per l'acqua, K_k vale 1853 K*g/mol; in analisi chimica, tuttavia, spesso si preferisce usare la canfora come solvente poiché ha un elevato valore della costante K_k = 40000 K*g/mol. La seconda parte dell'equazione precedente viene chiamata molarità (quantità della sostanza n_1 / massa m_2 del solvente) della sostanza disciolta.

Dall'abbassamento del punto di congelamento della massa molare della sostanza disciolta, si determina facilmente:

$$\Delta T = K_k \cdot \frac{n_1}{m_2} = K_k \cdot \frac{m_1}{M_1 \cdot m_2}$$

(m_1: massa della sostanza disciolta in g, m_2: massa del solvente in g, M_1: massa molare della sostanza disciolta in g/mol)

Risolvendo rispetto ad M_1 si ottiene:

$$M_1 = \frac{K_k \cdot m_1}{\Delta T \cdot m_2}$$

Questa equazione non si applica solo alle sostanze dissocianti. Nel caso dei sali, degli acidi e delle basi bisogna prendere in considerazione il numero di particelle sciolte e il grado di dissociazione α.

Nell'esempio di questo esperimento, si analizza una soluzione in acqua di glicole etilenico (HO-CH_2-CH_2-OH) di circa 1,0-M. Il glicole etilenico viene usato, per es., come antigelo nei radiatori delle automobili.

Il raffreddamento si ottiene con una miscela refrigerante formata da sale comune ed acqua in un vaso Dewar (vedere Preparazione di una miscela refrigerante).

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di chimica o adattatore NiCr-Ni S	524 067(3)
2	Sensori di temperatura NiCr-Ni, tipo K	529 676
1	Vaso Dewar, 0,5 l	667 320
2	Provette, 16x160 mm, per es.	664 043
1	Pipetta Pasteur, per es.	665 950
1	Bulbo per pipetta Pasteur, per es.	665 954
1	Tappo di gomma, ∅ 14-18 mm	667 253
1	Becher, 250 ml, alto	664 138
1	Bilancia di laboratorio, risoluzione ≤ 0,01 g, Range ≥ 300 g	
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Sostanze chimiche

Cloruro di sodio, per es. 250 g	673 5700
Glicole etilenico, per es. 250 ml	671 9800
Ghiaccio, circa 200 g	
Acqua distillata	

Calibrazione

Per ottenere dalla misura dei risultati precisi, bisogna calibrare l'elettrodo del pH quando viene usato per la prima volta. Successivamente, la calibrazione va ripetuta di tanto in tanto.

- Carica settaggi

- Immergere i due sensori di temperatura in acqua ghiacciata (miscuglio di acqua e ghiaccio), mescolare con i sensori di temperatura ed attendere che i valori sui display si siano stabilizzati fino a ± 0,1 °C.
- Per ciascun sensore inserire il valore di riferimento "0" nella prima linea di Settaggi ϑA12, ϑA13 e ΔTA1 sotto **Corretto**, e premere il pulsante **Offset Corretto**.
- Memorizzare sotto un nuovo nome i settaggi di calibrazione con **F2**.
- Contrassegnare Sensor-CASSY, il box di chimica ed il sensore di temperatura in modo da poterli usare sempre insieme (altrimenti la calibrazione memorizzata non è più valida).

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

- Inserire il box di chimica nell'ingresso A di Sensor-CASSY con i sensori di temperatura collegati agli ingressi T_2 e T_3.
- Per preparare il miscuglio refrigerante, tritare il ghiaccio più finemente possibile e poi versarlo nel vaso Dewar.
- Pesare con la bilancia circa 40-50 g di NaCl nel becher.
- Aggiungere un po' alla volta il sale al ghiaccio nel vaso Dewar e mescolare con un sensore di temperatura. Se il ghiaccio si mescola con difficoltà, aggiungere dell'acqua distillata.
- Mescolare fino ad ottenere nel vaso Dewar una temperatura uniforme. Si deve raggiungere una temperatura di circa -18 a -20 °C. Questo si può controllare con lo strumento di visualizzazione associato al sensore di temperatura.
- Mettere sulla bilancia il becher con dentro due provette asciutte ed azzerare la bilancia.
- Con la pipetta Pasteur mettere circa 0,5-0,7 g di glicole etilenico in una provetta e determinare con esattezza la massa. Azzerare la bilancia, aggiungere 10-12 g di acqua distillata al glicole etilenico e determinare con esattezza la massa. Memorizzare i valori durante la misura inserendoli in Commento Settaggi (accessibile mediante **F5**).
- Chiudere la provetta con il tappo di gomma e agitare in modo da sciogliere il glicole di etilene.
- Mettere circa 9-10 g di acqua distillata nella seconda provetta.
- Immergere nella soluzione di glicole etilenico il sensore di temperatura collegato a T_2 controllando che sia ben pulito e l'altro sensore, anch'esso ben pulito, in acqua distillata.

Esecuzione dell'esperimento

- Utilizzare o caricare i settaggi di calibrazione.
- Tenendo immersi i sensori di temperatura, mettere contemporaneamente le due provette nella miscela refrigerante tenendole alla stessa profondità. Il livello dei liquidi nelle provette deve essere al di sotto del livello della miscela refrigerante. Per questo, controllare che la soluzione salina non si sposti dalla miscela refrigerante alle provette.
- Avviare la misura premendo il tasto **F9** o il pulsante .
- Mescolare continuamente il contenuto delle provette con i due sensori di temperatura fino al completo raffreddamento dei liquidi.
- Continuare la misura fino a quando ΔT_{A1} si trova appena sotto lo 0 e le temperature risultano praticamente costanti.
- Arrestare la misura premendo il tasto **F9** o il pulsante .

Valutazione dei risultati

Durante la misura, si registrano tre curve contemporaneamente: le due curve di raffreddamento (ϑ_{A12} e ϑ_{A13}) – una relativa al campione ed una relativa all'acqua distillata – e la curva della differenza (ΔT_{A1}).

Le curve del raffreddamento presentano diverse regioni:

a) All'inizio della misura, le temperature ϑ_{A12} e ϑ_{A13} subiscono una netta diminuzione poiché i due liquidi si raffreddano rapidamente.

b) Il brusco calo di temperatura – soprattutto nel caso di ϑ_{A12} – termina con un minimo, la cosiddetta sopraffusione dei liquidi.

c) Nella curva, questo minimo di temperatura è seguito dalla regione di solidificazione la quale svolge un ruolo molto importante nella determinazione dell'abbassamento del punto di congelamento. Nel

caso dei solventi puri, la temperatura rimane costante durante la solidificazione per cui la curva di raffreddamento presenta un tratto perfettamente orizzontale (vedere la curva ϑ_{A13} dell'esempio).

Nel caso delle soluzioni, la regione di solidificazione ha un andamento diverso: poiché in questo caso il solvente quasi puro cristallizza mentre la sostanza disciolta rimane nella fase liquida, la concentrazione di tale sostanza aumenta regolarmente. Per questo motivo, il punto di congelamento della soluzione diminuisce ulteriormente (vedere la curva ϑ_{A12} dell'esempio). Questo significa che all'inizio del processo di solidificazione il punto di congelamento della soluzione originaria si trova sul massimo.

d) Terminato il processo di solidificazione, le sostanze tendono rapidamente verso la temperatura ambiente con legge esponenziale. Poiché la fase cristallina del ghiaccio puro non presenta dei limiti ben definiti, contrariamente alla soluzione refrigerante, esso si raffredda molto più rapidamente.

Per valutare i risultati della misura, bisogna determinare prima il punto di congelamento della soluzione di glicole etilenico mediante la curva di raffreddamento ϑ_{A12}. Nella curva, questo punto si presenta come un massimo all'inizio della zona di solidificazione. Le coordinate di questa zona ristretta si possono leggere dalla tabella dei risultati della misura (cliccare sul massimo con il pulsante sinistro del mouse – tramite il corrispondente valore evidenziato nella tabella). La differenza di temperatura tra le due curve di raffreddamento in questa zona determina l'abbassamento del punto di congelamento ΔT della soluzione rispetto all'acqua pura. Poiché la misura della differenza di temperatura ΔT_{A1} eseguita con il box di chimica presenta una elevata risoluzione, si utilizza questa curva per determinare l'abbassamento del punto di congelamento.

In questo caso, premendo **Alt+Z**, selezionare con il pulsante sinistro del mouse la zona di congelamento e la curva differenza riguardante questa valutazione in modo da ottenere un ingrandimento della zona selezionata. Quindi, cliccando sul diagramma con il pulsante destro del mouse, selezionare **Estrarre Valore Medio**, e marcare con il mouse sulla curva differenza ΔT_{A1} i risultati della misura appartenenti alla regione di solidificazione di ϑ_{A12}. Durante questa operazione, verificare la posizione del puntatore del mouse sulla linea di stato. Il valore medio di ΔT_{A1} appare sul diagramma evidenziato da una linea orizzontale; il valore numerico corrispondente si trova sulla linea di stato e si può inserire nel diagramma come Testo mediante **Alt+T**.

Ricavato in questo modo l'abbassamento del punto di congelamento, si può determinare la massa molare della sostanza presa in considerazione utilizzando la seguente equazione:

$$M_1 = \frac{K_k \cdot m_1}{\Delta T \cdot m_2}$$

Dai valori utilizzati in questo esperimento (m_1 = 0,63 g; m_2 = 11,56 g; $\Delta T = |\Delta T_{A1}|$ = 1,59 K; K_k = 1853 K*g/mol) la massa molare del glicole etilenico risulta:

M_1 = 63,51 g/mol.

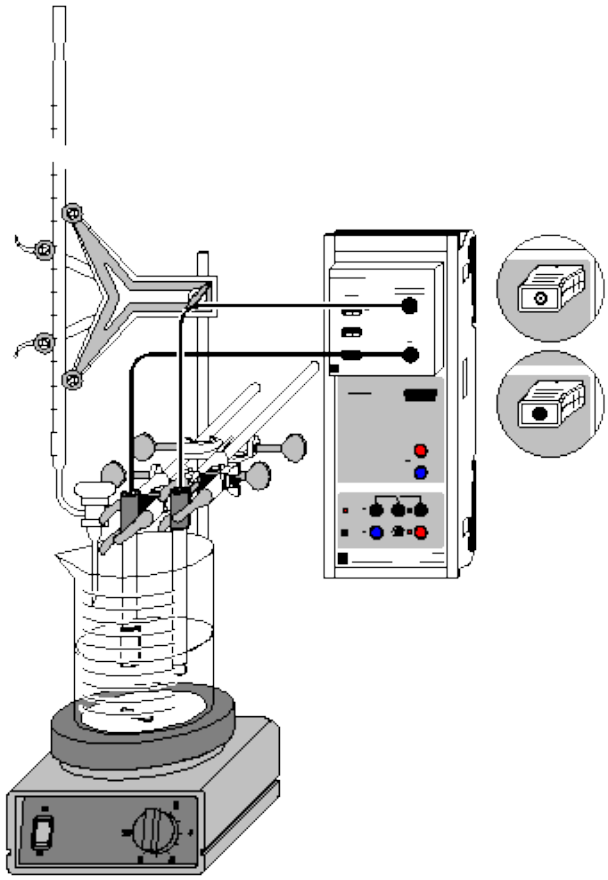
Confrontando questo risultato con il suo valore standard uguale a 62,07 g/mol, si ha un errore di 2,3 %.

Altri possibili esperimenti

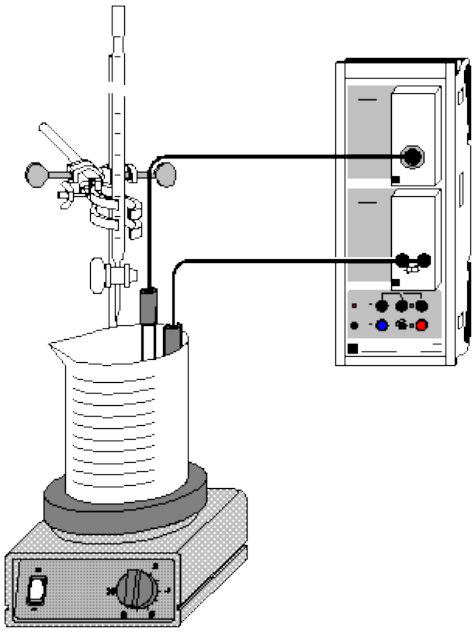
Con questo esperimento si possono registrare le curve di raffreddamento di molte altre sostanze.

Supponendo di conoscere la composizione, dalle curve di raffreddamento dei sali, degli acidi e delle basi si può ricavare il grado di dissociazione ad una determinata concentrazione di tali sostanze. In questo caso, dalla misura dell'abbassamento del punto di congelamento con una certa quantità di sale si può risalire all'ammontare delle particelle disciolte e quindi calcolare il grado di dissociazione.

Titolazione dell'acido cloridrico con una soluzione di soda caustica (pH e conducibilità)



In alternativa con il box di pH e il box di conducibilità:



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Attenzione

Gli acidi e le basi sono sostanze corrosive. Usare gli occhiali di protezione.

Descrizione dell'esperimento

Durante la titolazione, si misura contemporaneamente il valore del pH e la conducibilità; nella valutazione dei risultati, si determina il punto di equivalenza ed il valore pK_a della titolazione.

Elenco delle apparecchiature (con il box chimica o gli adattatori per pH/conducibilità S)

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di chimica o adattatori per pH/conducibilità S	524 067(2+1)
1	Sensore di conducibilità	529 670
1	Elettrodo del pH con connettore BNC	667 4172
1	Agitatore magnetico	666 845
1	Becher, 250 ml, alto	664 113
1	Asta di sostegno, 450 mm, filettatura M10	666 523
3	Morsetto a croce	666 543
3	Pinze universali	666 555
1	Buretta, 50 ml	665 847
1	Buretta ad imbuto	665 816
1	Pipetta, 10 ml	665 975
1	Sfera per pipetta	666 003
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Elenco delle apparecchiature (alternativamente con il box di pH e il box di conducibilità)

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di pH	524 035
1	Elettrodo del pH ad asta singola	667 424
1	Box di conducibilità	524 037
1	Cella per la misura della conducibilità	667 426
1	Agitatore magnetico	666 845
1	Becher, 250 ml, alto	664 113
1	Asta di sostegno, 450 mm, filettatura M10	666 523
3	Morsetto a croce	666 543
3	Pinze universali	666 555
1	Buretta, 50 ml	665 847
1	Buretta ad imbuto	665 816
1	Pipetta, 10 ml	665 975
1	Sfera per pipetta	666 003
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Sostanze chimiche

Soluzione di acido cloridrico, c = 0,1 mol/l, 500 ml	674 6950
Soluzione di soda caustica, c = 0,1 mol/l, 500 ml	673 8410
Acqua distillata	

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

Il pH e la conducibilità si misurano, rispettivamente, mediante il box di pH collegato all'ingresso A di Sensor-CASSY ed il box di conducibilità collegato all'ingresso B.

Per la titolazione usare l'agitatore magnetico, il becher, il materiale di sostegno e la buretta. Versare circa 100 ml d'acqua nel becher ed aggiungere 10 ml di soluzione di acido cloridrico con la pipetta.

Inserire gli elettrodi immergendoli a sufficiente profondità, ma in modo da non urtare contro le pale ruotanti dell'agitatore.

Calibrazione

Per eseguire una misura sufficientemente precisa, bisogna calibrare gli elettrodi sia quando si usano per la prima volta sia quando si usano dopo un lungo periodo di inattività.

- Carica settaggi
- Selezionare **Corretto** in Settaggi pH pHA1.
- Lavare l'elettrodo con acqua distillata, immergerlo in una soluzione tampone con pH = 7,00 ed agitare la soluzione.
- Inserire 7,00 come primo valore di riferimento e cliccare su **Offset Corretto**.
- Lavare l'elettrodo con acqua distillata, immergerlo in una soluzione tampone con pH = 4,00 ed agitare la soluzione.
- Inserire 4,00 come secondo valore di riferimento e cliccare su **Fattore Corretto**.
- Selezionare **Corretto** in Settaggi Conducibilità CB1.
- Al posto del fattore 1,00, inserire quello riportato sull'elettrodo e cliccare su **Fattore Corretto**.
- Contrassegnare Sensor-CASSY, gli elettrodi e i box sensori in modo da usare sempre la stessa configurazione (questo è l'unico modo che consente di memorizzare ed utilizzare sempre la stessa calibrazione).

Esecuzione dell'esperimento

- Carica i settaggi di calibrazione
- Registrare i valori iniziali con **F9**.
- Lasciar gocciolare continuamente la soluzione di soda caustica e registrare con **F9** i corrispondenti valori di pH e della conducibilità ogni 0,5 ml.

Valutazione dei risultati

Il punto di equivalenza si può determinare in due modi:

pH

Cliccare sul diagramma con il pulsante destro del mouse, selezionare **Determina Punto di Equivalenza** ed evidenziare il range della curva desiderato. Il valore compare nella linea di stato (eventualmente con il valore pK) e si può inserire come testo in un punto qualsiasi del diagramma con il pulsante sinistro del mouse.

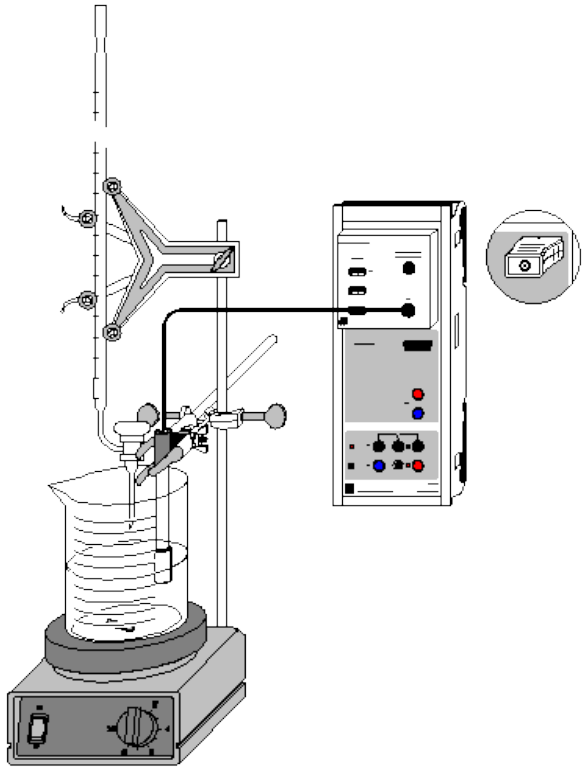
Conducibilità

Cliccare sul diagramma con il pulsante destro del mouse, interpolare con andamento lineare ed evidenziare il ramo sinistro della curva della conducibilità. Fare la stessa cosa con il ramo di destra. Inserire una linea verticale per individuare l'intersezione delle due linee e quindi visualizzare le coordinate.

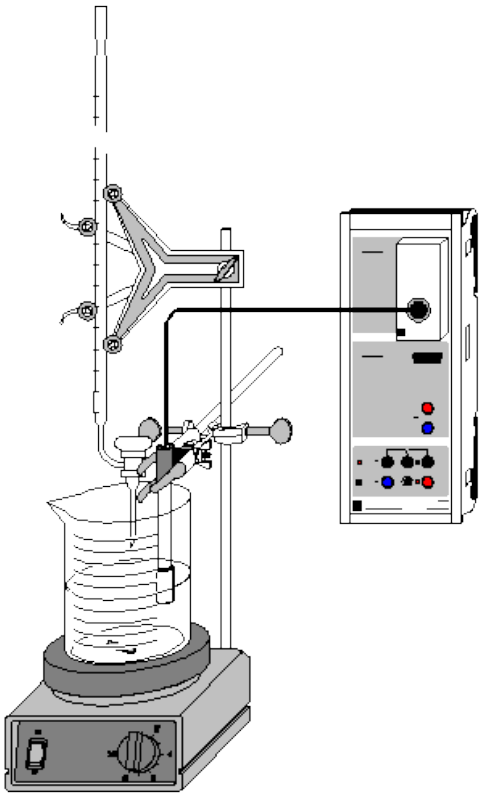
Altri esperimenti

- Registrazione della misura di una sola grandezza (per esempio, pH).
  Con il pulsante destro del mouse, cliccare sulla finestra della conducibilità e selezionare **Cancella**. La finestra scompare assieme a tutti gli altri dati riguardanti la conducibilità. Ora, l'esperimento è pronto per misurare solo il pH.
- Impiego di una buretta sincrona o di una buretta a pistone mobile (titolazione automatica).
  Selezionare **Registrazione Automatica** attraverso la finestra parametri di misura (premere due volte **F5**) ed assegnare l'intervallo di tempo, per esempio 1 s.
  Inserire la formula **t/20** in Settaggi V del volume (in questo modo si suppone di misurare 1 ml ogni 20 s. Si può presentare la necessità di modificare sia questi valori come pure il volume massimo).
- Registrazione del volume con la bilancia (titolazione automatica)
  In Settaggi Generali CASSY (premere **F5**), selezionare l'opzione **Bilancia** e definire l'interfaccia seriale alla quale è collegata la bilancia (per esempio, assegnare a **Bilancia** la COM2 nel caso in cui si utilizza questa porta).
  Eseguire il settaggio (velocità di trasmissione, parametri di comunicazione, ecc.) in funzione della bilancia utilizzata (eventualmente, consultare il manuale della bilancia).
  In Settaggi V del volume, inserire la formula **m/1.05** (in questo modo si suppone che la densità della titolazione sia di 1,05 g/ml. Si può presentare la necessità di modificare sia questo valore come pure il volume massimo).

Titolazione dell'aceto domestico



Alternativamente con il box di pH:



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Attenzione

Gli acidi e le basi sono sostanze corrosive. Indossare occhiali di protezione e guanti resistenti agli acidi.

Descrizione dell'esperimento

La concentrazione degli acidi (e delle basi) si può determinare mediante titolazione con una soluzione standard. In questo caso, per titolazione si ottiene il punto di equivalenza di un volume V di acido il cui valore deve essere misurato esattamente. Se si conosce la valenza n dell'acido, si può determinare la sua concentrazione mediante questa equazione:

$$n_1 \cdot c_1 \cdot V_1 = n_2 \cdot c_2 \cdot V_2$$

Nel caso dell'aceto domestico, si può determinare facilmente la concentrazione utilizzando come soluzione standard 1 M di NaOH.

Elenco delle apparecchiature (con il box di chimica o l'adattatore per pH S)

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di chimica o adattatore per pH S	524 067(2)
1	Elettrodo di pH con connettore BNC	667 4172
1	Sensore di temperatura NiCr-Ni (se necessario)	529 676
1	Agitatore magnetico	666 845
1	Becher, 250 ml, basso	664 103
1	Asta di sostegno, 450 mm, filettatura M10	666 523
1	Pipetta graduata, 10 ml	665 997
1	Sfera per pipetta	666 003
1	Burette, 25 ml	665 845
1	Buretta ad imbuto	665 816
1	Morsetto per buretta	666 559
1	Morsetto a croce	666 543
1	Morsetto universale piccolo	666 551
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Elenco delle apparecchiature (alternativamente con il box di pH)

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di pH	524 035
1	Elettrodo del pH ad asta singola	667 424
1	Agitatore magnetico	666 845
1	Becher, 250 ml, basso	664 103
1	Asta di sostegno, 450 mm, filettatura M10	666 523
1	Pipetta graduata, 10 ml	665 997
1	Sfera per pipetta	666 003
1	Buretta, 25 ml	665 845
1	Buretta ad imbuto	665 816
1	Morsetto per buretta	666 559
1	Morsetto a croce	666 543
1	Morsetto universale piccolo	666 551
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Sostanze chimiche

Aceto domestico	
Acqua distillata	
Soluzione di soda caustica, c = 1 mol/l	per es. 500 ml: 673 8420
Soluzione buffer pH 4,00	per es. 250 ml: 674 4640
Soluzione buffer pH 7,00	per es. 250 ml: 674 4670

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

Inserire il box di chimica con l'elettrodo del pH nell'ingresso A di Sensor-CASSY e collegare il PC. Se la temperatura è molto diversa da 25 °C, si raccomanda di collegare il sensore di temperatura all'ingresso T_1. La misura della temperatura della soluzione serve a compensare automaticamente la tensione presente sull'elettrodo del pH.

Come alternativa al box di chimica, inserire il box di pH con il suo elettrodo ad asta singola nell'ingresso A di Sensor-CASSY.

Assemblare il sistema di titolazione utilizzando il materiale di sostegno, l'agitatore magnetico, il becher e la buretta. Versare circa 100 ml di acqua distillata nel becher e aggiungere con la pipetta esattamente 10 ml di aceto. Attraverso l'imbuto, riempire la buretta fino al segno zero con una soluzione 1 M di soda caustica.

Inserire l'elettrodo del pH facendo in modo che il lato del diaframma di misura sia immerso completamente ed il lato con la membrana di vetro non venga danneggiato dalla rotazione della barra dell'agitatore. Per individuare il punto di equivalenza, aggiungere come indicatore alcune gocce di una soluzione di fenolftaleina.

Calibrazione

Per ottenere dalla misura dei risultati precisi, bisogna calibrare l'elettrodo del pH quando viene usato per la prima volta. Successivamente, la calibrazione va ripetuta di tanto in tanto:

- Carica settaggi
- Selezionare **Corretto** in Settaggi pHA1.
- Sciacquare l'elettrodo del pH con acqua distillata, immergerlo nella soluzione buffer pH 7,00 ed agitarlo brevemente.
- Inserire 7,00 come primo valore di riferimento. Quando i risultati della misura si sono stabilizzati, premere il pulsante **Offset Corretto**.
- Sciacquare l'elettrodo del pH con acqua distillata, immergerlo nella soluzione buffer pH 4,00 ed agitarlo brevemente.
- Inserire 4,00 come secondo valore di riferimento. Quando i risultati della misura si sono stabilizzati, premere il pulsante **Fattore Corretto**.
- Contrassegnare Sensor-CASSY, l'elettrodo del pH, il box di chimica o del pH in modo da poterli usare successivamente collegandoli allo stesso ingresso (altrimenti la calibrazione memorizzata non è più valida).

Esecuzione dell'esperimento

- Carica i settaggi di calibrazione
- Se si vuole aggiungere la soluzione ad intervalli diversi da 0,2 ml, questo valore si può cambiare entrando in Settaggi V nel campo Formula, per es. inserendo "0,5*n-0,5" quando si vuole procedere ad intervalli di 0,5 ml.
- Determinare il primo valore della misura premendo il tasto **F9** o il pulsante .
- Aggiungere in continuazione e lentamente gocce di soluzione di soda caustica, registrare il valore del pH ad intervalli di 0,2 ml premendo il tasto **F9**.

Valutazione dei risultati

Nel punto di equivalenza ($V = V_{eq}$), tutto l'acido acetico ha reagito con la soluzione di soda caustica:

$$HAc + NaOH \rightarrow Na^+ + Ac^- + H_2O$$

Poiché le due sostanze reagiscono una con l'altra nel rapporto 1:1, la concentrazione dell'acido acetico si calcola con questa formula

$$c_{HAc} \cdot V_{HAc} = c_{NaOH} \cdot V_{eq}$$

Il volume di NaOH ed il punto di equivalenza si determinano con CASSY-Lab. Per fare questo, cliccare sul diagramma con il pulsante destro del mouse, selezionare **Altre Valutazioni** e cliccare su **Trova Punto di Equivalenza**. Infine con marcare range della curva si seleziona il tratto di curva da prendere in considerazione. Immediatamente vengono visualizzati graficamente il punto di equivalenza ed il valore di pK_a. I valori corrispondenti si trovano in basso a sinistra della linea di stato e si possono inserire come testo in un punto qualsiasi del diagramma.

Altre valutazioni

Si possono eseguire calcoli più accurati per confrontare il valore della concentrazione in mol/l ottenuto dalla misura e le indicazioni riportate nell'etichetta dell'aceto in Vol.-%.

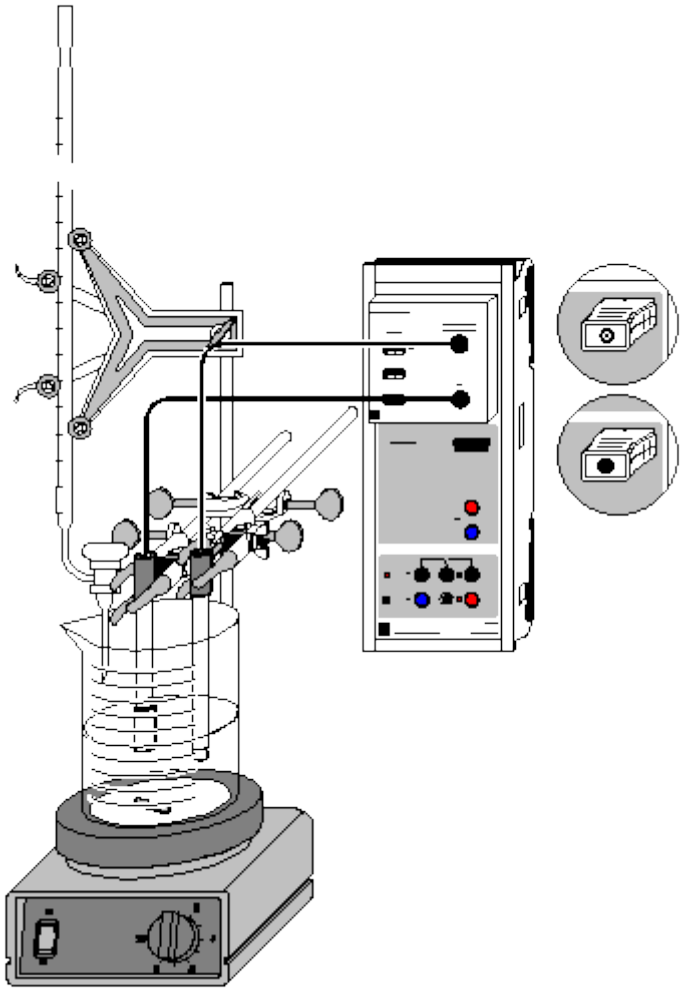
Prima di tutto calcolare la massa dell'acido acetico puro contenuto in soluzione nell'aceto moltiplicando la sua concentrazione per la massa molare (M_{HAc} = 60,05 g/mol):

$$c_{HAc} \cdot M_{HAc} = \frac{m_{HAc}}{1\,l}$$

Dividere il valore ottenuto per la densità dell'acido acetico puro (ρ_{Hac} = 1050 g/l) in modo da ottenere la proporzione di acido acetico puro contenuto nell'aceto domestico. Moltiplicando per 100 si ottiene il valore percentuale:

$$\frac{m_{HAc} \cdot 100}{1\,l \cdot \rho_{HAc}} = Vol\%_{HAc}$$

Titolazione dell'acido acetico con una soluzione di soda caustica (pH e conducibilità)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Attenzione

Gli acidi e le basi sono sostanze corrosive. Indossare occhiali di protezione e guanti resistenti agli acidi.

Descrizione dell'esperimento

Con il box di chimica si possono eseguire contemporaneamente molti esperimenti. Questo permette di prendere in considerazione contemporaneamente i diversi aspetti di un singolo esperimento. Infatti, durante la titolazione dell'acido acetico con una soluzione di soda caustica si ha la possibilità di avere informazioni sull'andamento della reazione sia dalla misura del pH che dalla misura della conducibilità.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di chimica o adattatori per pH/conducibilità S	524 067(2+1)
1	Sensore di conducibilità	529 670
1	Elettrodo del pH con connettore BNC	667 4172
1	Agitatore magnetico	666 845

1	Becher, 250 ml, basso	664 103
1	Asta di sostegno, 450 mm, filettatura M10	666 523
1	Pipetta graduata, 10 ml	665 997
1	Sfera per pipetta	666 003
1	Buretta, 25 ml	665 845
1	Buretta ad imbuto	665 816
1	Morsetto per buretta	666 559
2	Morsetti a croce	666 543
2	Morsetti universali piccoli	666 551
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Sostanze chimiche

Acido acetico, c = 0,1 mol/l	per es. 500 ml: 671 9560
Soluzione di soda caustica, c = 0,1 mol/l	per es. 500 ml: 673 8410
Acqua distillata	
Soluzione buffer pH 4,00	per es. 250 ml: 674 4640
Soluzione buffer pH 7,00	per es. 250 ml: 674 4670

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

Inserire il box di chimica con il sensore di conducibilità e l'elettrodo del pH nell'ingresso A di Sensor-CASSY e collegare il PC.

Assemblare il sistema di titolazione utilizzando il materiale di sostegno, l'agitatore magnetico, il becher e la buretta.

Versare circa 120 ml di acqua distillata nel becher e aggiungere con la pipetta esattamente 10 ml di acido acetico; attraverso l'imbuto, riempire la buretta con la soluzione di soda caustica fino al segno zero.

Per evitare di commettere degli errori nella misura della conducibilità a causa dell'inquinamento introdotto dall'elettrolito di riferimento per la presenza dell'elettrodo del pH, sciacquare accuratamente tale elettrodo con acqua distillata prima di iniziare l'esperimento. Inoltre, per compensare la pressione, bisogna lasciare aperta l'imboccatura superiore dell'elettrodo. Nell'inserire l'elettrodo del pH, fare in modo che il lato del diaframma di misura sia immerso completamente ed il lato con la membrana di vetro non venga danneggiato dalla rotazione della barra dell'agitatore.

A causa della dispersione dei dati acquisiti, il sensore di conducibilità deve essere immerso ad una profondità di almeno 2 cm ed in modo che la sua distanza dalle pareti del contenitore e dagli altri componenti immersi nel liquido (sensore pH, barra dell'agitatore) sia di almeno 1 cm.

Calibrazione

Per ottenere dalla misura dei risultati precisi, bisogna calibrare l'elettrodo del pH quando viene usato per la prima volta. Successivamente, la calibrazione va ripetuta di tanto in tanto:

- Carica settaggi
- Selezionare **Corretto** in Settaggi pHA1.
- Sciacquare l'elettrodo del pH con acqua distillata, immergerlo nella soluzione buffer pH 7,00 ed agitarlo brevemente.
- Inserire 7,00 come primo valore di riferimento. Quando i risultati della misura si sono stabilizzati, premere il pulsante **Offset Corretto**.
- Sciacquare l'elettrodo del pH con acqua distillata, immergerlo nella soluzione buffer pH 4,00 ed agitarlo brevemente.
- Inserire 4,00 come secondo valore di riferimento. Quando i risultati della misura si sono stabilizzati, premere il pulsante **Fattore Corretto**.
- In CASSY Lab, la cella del sensore di conducibilità per il box di chimica è già predisposta sul fattore 0,58. Se si usa un altro sensore di conducibilità bisogna inserire il fattore di questa cella in Settaggi CA1 sotto **Corretto**.; quindi, premere il pulsante **Fattore Corretto**.
- Per determinare con maggiore precisione la costante della cella, si possono usare le soluzioni di calibrazione: sciacquare il becher e il sensore di conducibilità prima con acqua distillata e poi con circa 30-40 ml di soluzione di calibrazione. Immergere il sensore di conducibilità in altri 50 ml di soluzione di calibrazione come se si dovesse fare una misura di conducibilità (fare attenzione alla distanza dalle pareti del becher), inserire il valore di riferimento nella seconda linea di Settaggi CA1

sotto **Corretto**; quindi, ottenuto un valore stabile della misura, premere il pulsante **Fattore Corretto**.

- Contrassegnare Sensor-CASSY, gli elettrodi ed il box di chimica in modo da poterli usare successivamente collegandoli allo stesso ingresso (altrimenti la calibrazione memorizzata non è più valida).

Esecuzione dell'esperimento

- Carica i settaggi di calibrazione
- Se si vuole aggiungere la soluzione ad intervalli diversi da 0,2 ml, questo valore si può cambiare entrando in Settaggi V nel campo Formula, per es. inserendo "0,5*n-0,5" quando si vuole procedere ad intervalli di 0,5 ml.
- Determinare il primo valore della misura premendo il tasto **F9** o il pulsante .
- Procedendo lentamente, aggiungere goccia a goccia 20 ml di soluzione di soda caustica e registrare il valore del pH ad intervalli di 0,2 ml premendo il tasto **F9**.
- Se si vuole eseguire una titolazione automatica mediante una buretta a stantuffo e una barriera luminosa, vedere l'esperimento corrispondente.

Valutazione dei risultati

La determinazione del punto di equivalenza mediante una misura di conducibilità si esegue graficamente. Prima di tutto si clicca sul sistema di coordinate con il pulsante destro del mouse e si seleziona **Funzione Interpolazione** e **Andamento lineare migliore**. Quindi marcare uno dei due tratti di curva da interpolare con la retta. Le sezioni più appropriate sono quelle che si trovano a destra e a sinistra della cuspide presente nella curva di conducibilità. L'intersezione delle due rette individua sull'asse x il volume di neutralizzazione per la titolazione dell'acido acetico. Esso si può marcare con una linea verticale mediante i tasti **Alt+V**.

Per determinare il punto di equivalenza con una misura del pH, cliccare sul diagramma con il pulsante destro del mouse e selezionare **Altre Valutazioni** e **Trova Punto di Equivalenza**. Dopo aver marcato il range della curva, vengono calcolati e visualizzati contemporaneamente i punti di equivalenza e di metà equivalenza. Il valore del pH nel punto di metà equivalenza fornisce anche il valore di pK_a dell'acido acetico. I corrispondenti valori numerici si trovano nella linea di stato e si possono inserire nel diagramma come etichette trascinandoli con il pulsante sinistro del mouse.

Note

Nel punto di equivalenza ($V = V_{eq}$), nella soluzione ci sono quasi esclusivamente ioni di sodio e di acetato:

$$HAc + Na^+ + OH^- \rightarrow Na^+ + Ac^- + H_2O$$

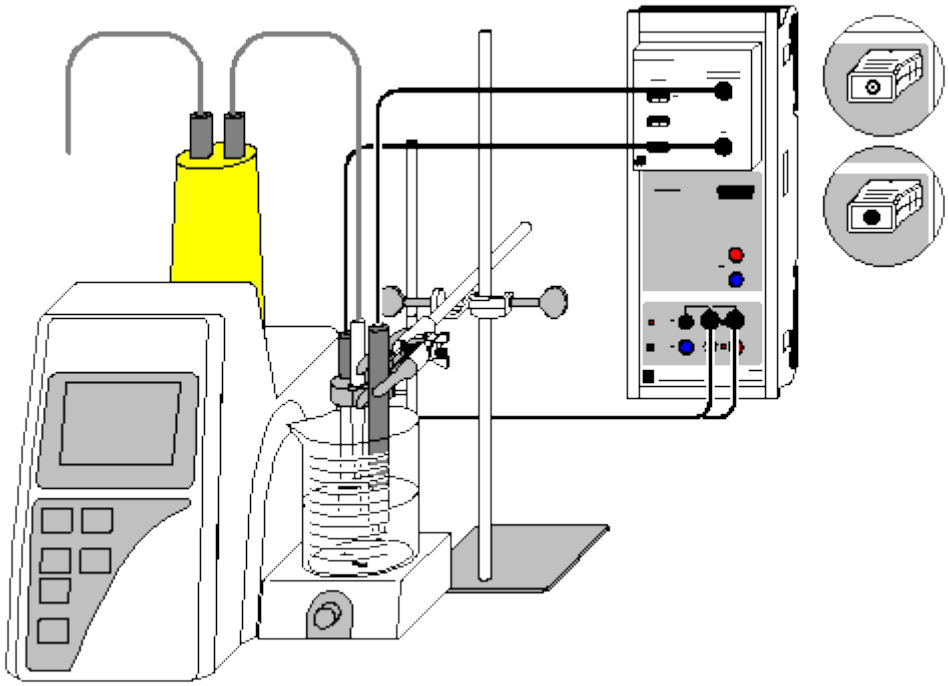
La concentrazione degli ioni H_3O^+ e OH^- è molto bassa (pH circa 8). Poiché la mobilità degli ioni idrossido è maggiore di quella degli ioni acetato, la curva della conducibilità presenta una cuspide in corrispondenza del punto di equivalenza. Prima della neutralizzazione, gli ioni idrossido reagiscono completamente con l'acido acetico per cui l'aumento di conducibilità va attribuito soltanto all'acetato prodotto e agli ioni sodio (piccolo incremento della curva di conducibilità).

Il piccolo abbassamento della conducibilità che si ha all'inizio della titolazione corrisponde al brusco aumento del pH che si verifica nello stesso range: questo dipende dalla relazione riguardante gli acidi deboli

$$\left[H_3O^+\right] = K_a \frac{[HA]}{[A^-]}$$

secondo la quale, la concentrazione degli ioni H_3O^+ dipende dal rapporto $[HA]/[A^-]$. Tale rapporto diminuisce in modo particolarmente veloce all'inizio della titolazione poiché nell'acido acetico iniziale gli ioni $[A^-]$ sono quasi completamente assenti ed aumenta rapidamente quando si aggiunge la soluzione di soda caustica. Poiché la mobilità degli ioni H_3O^+ è particolarmente elevata, si ha in corrispondenza un abbassamento della conducibilità.

Titolazione automatica di NH_3 con NaH_2PO_4 (buretta a stantuffo)



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Utilizzando una buretta a stantuffo con la CASSY, si può eseguire una titolazione in modo completamente automatico compresa l'acquisizione dei risultati della misura.

La titolazione di una base debole come l'ammoniaca con un acido debole come il bifosfato di sodio da luogo ad una curva del pH con pendenza particolarmente bassa. In questo caso, la misura di conducibilità fornisce dei dati di facile interpretazione. Registrando entrambe le curve con la CASSY, è possibile confrontare direttamente i due metodi e valutare in ciascun caso la precisione con cui si determina il punto di equivalenza.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di chimica o adattatori per pH/conducibilità S	524 067(2+1)
1	Sensore di conducibilità	529 670
1	Elettrodo del pH con connettore BNC	667 4172
1	Buretta a stantuffo	665 825
1	Cavo di collegamento per buretta a stantuffo	665 8251
1	Becher, 250 ml, basso	664 103
2	Beute volumetriche, 100 ml	665 793
1	Bulbo a pipetta, 5 ml	665 974
1	Sfera per pipetta	666 003
1	Sostegno per bruciatore Bunsen, 450 mm	666 502
1	Morsetto a croce	666 543
1	Morsetto universale piccolo	666 551
1	Spatola	666 962
1	Vetrino di orologio, per es. 80 mm	664 154
1	Imbuto polverizzatore, per es. 60 mm	602 681
1	Bilancia (al minimo fino 100 g, Risoluzione 0,01 g)	
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Sostanze chimiche

Acqua distillata	
Soluzione diluita di ammoniaca	per es. 500 ml: 670 3650
$NaH_2PO_4 * 2 H_2O$	per es. 50 g: 673 6000
Soluzione buffer pH 4,00	per es. 250 ml: 674 4640
Soluzione buffer pH 7,00	per es. 250 ml: 674 4670

Preparazione delle soluzioni

Tramite il vetrino di orologio, pesare esattamente 1,56 g di bifosfato di sodio (0,01 mol); mediante l'imbuto, sciacquare con acqua distillata il vetrino nella beuta volumetrica 100 ml e riempirla fino a 100 ml. Mediante il bulbo a pipetta, versare 5 ml di ammoniaca nell'altra beuta volumetrica e riempirla con acqua distillata fino al segno. In questo modo, si ottiene una soluzione 0,1 M di ciascuna delle due sostanze.

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

Inserire il box di chimica con l'elettrodo del pH nell'ingresso A di Sensor-CASSY e collegare il PC.

Sciacquare la buretta a stantuffo (leggere la scheda istruzioni) e riempirla con la soluzione di NaH_2PO_4 preparata precedentemente, mettere il becher con 10 ml di soluzione di ammoniaca, 100 ml di acqua distillata e la barra dell'agitatore sull'agitatore magnetico della buretta a stantuffo. Nel menu "Dosaggio" della buretta, fissare il volume di riferimento sul valore 20 ml e la velocità di alimentazione sul valore 2,0 ml/min.

Inserire un estremo del cavetto di collegamento nei due ingressi sulla destra del relè R di Sensor CASSY e l'altro estremo nel pulsante all'ingresso della buretta a stantuffo.

Per evitare di commettere degli errori nella misura della conducibilità a causa dell'inquinamento introdotto dall'elettrolito di riferimento per la presenza dell'elettrodo del pH, sciacquare accuratamente tale elettrodo con acqua distillata prima di iniziare l'esperimento. Inoltre, per compensare la pressione, bisogna lasciare aperta l'imboccatura superiore. Nell'inserire l'elettrodo del pH (sul sostegno della buretta a stantuffo), fare in modo che il lato del diaframma di misura sia immerso completamente ed il lato con la membrana di vetro non venga danneggiato dalla rotazione della barra dell'agitatore.

A causa della dispersione dei dati acquisiti, il sensore di conducibilità deve essere immerso ad una profondità di almeno 2 cm ed in modo che la sua distanza dalle pareti del contenitore e dagli altri componenti immersi nel liquido (sensore pH, barra dell'agitatore) sia di almeno 1 cm. Inoltre, si raccomanda di fissare il sensore di conducibilità ad un sostegno separato del bruciatore Bunsen.

Calibrazione

Per ottenere dalla misura dei risultati precisi, bisogna calibrare l'elettrodo del pH quando viene usato per la prima volta. Successivamente, la calibrazione va ripetuta di tanto in tanto:

- Carica settaggi
- Selezionare **Corretto** in Settaggi pHA1.
- Sciacquare l'elettrodo del pH con acqua distillata, immergerlo nella soluzione buffer pH 7,00 ed agitarlo brevemente.
- Inserire 7,00 come primo valore di riferimento. Quando i risultati della misura si sono stabilizzati, premere il pulsante **Offset Corretto**.
- Sciacquare l'elettrodo del pH con acqua distillata, immergerlo nella soluzione buffer pH 4,00 ed agitarlo brevemente.
- Inserire 4,00 come secondo valore di riferimento. Quando i risultati della misura si sono stabilizzati, premere il pulsante **Fattore Corretto**.
- In CASSY Lab, la cella del sensore di conducibilità per il box di chimica è già predisposta sul fattore 0,58. Se si usa un altro sensore di conducibilità bisogna inserire il fattore di questa cella in Settaggi CA1 sotto **Corretto**.; quindi, premere il pulsante **Fattore Corretto**.
- Per determinare con maggiore precisione la costante della cella, si possono usare le soluzioni di calibrazione: sciacquare il becher e il sensore di conducibilità prima con acqua distillata e poi con circa 30-40 ml di soluzione di calibrazione. Immergere il sensore di conducibilità in altri 50 ml di soluzione di calibrazione come se si dovesse fare una misura di conducibilità (fare attenzione alla distanza dalle pareti del becher), inserire il valore di riferimento nella seconda linea di Settaggi CA1 sotto **Corretto**; quindi, ottenuto un valore stabile della misura, premere il pulsante **Fattore Corretto**.

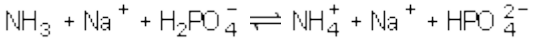
- Contrassegnare Sensor-CASSY, l'elettrodo del pH ed il box di chimica in modo da poterli usare successivamente collegandoli allo stesso ingresso (altrimenti la calibrazione memorizzata non è più valida).

Esecuzione dell'esperimento

- Carica i settaggi di calibrazione
- Se si vuole utilizzare un dosaggio con un volume di riferimento diverso da 20 ml ed una velocità di alimentazione della buretta a stantuffo diversa da 2,0 ml/min, bisogna cambiare i valori di default in CASSY Lab, cioè il valore di n (indice tabella) in Parametri della misura ed in Settaggi Relè/Tensione Alimentazione e la formula in Settaggi Volume V.
- Avviare la titolazione premendo il tasto **F9** o il pulsante . I risultati della misura e il dosaggio della titolazione da 0 a 20 vengono registrati automaticamente.

Valutazione dei risultati

NH_3 ed NaH_2PO_4 reagiscono secondo questa reazione:



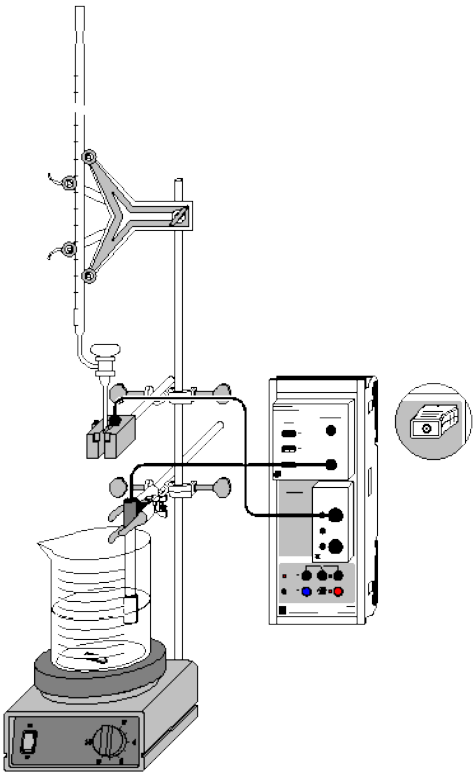
Poiché l'ammoniaca è una base debole, all'inizio della reazione nella soluzione ci sono pochi ioni ossidrili OH^-. Per questo motivo, la conducibilità iniziale è molto bassa ed aumenta durante la titolazione con la formazione dei prodotti della reazione. Raggiunto il punto di equivalenza, cioè quando l'ammoniaca ha reagito completamente, la conducibilità aumenta per la presenza degli ioni di sodio e di bisolfato. Per questo motivo, nella curva della conducibilità si forma una cuspide molto marcata in corrispondenza del punto di equivalenza.

Per determinare graficamente il punto di equivalenza dalla curva della conducibilità si procede in questo modo. Prima di tutto si clicca sul sistema di coordinate con il pulsante destro del mouse e si seleziona **Funzione Interpolazione** e **Andamento lineare migliore**. Quindi marcare uno dei due tratti di curva da interpolare con la retta. Le sezioni più appropriate sono quelle che si trovano a destra e a sinistra della cuspide presente nella curva di conducibilità. L'intersezione delle due rette individua sull'asse x il volume di neutralizzazione per la titolazione dell'ammoniaca. Esso si può marcare con una linea verticale mediante i tasti **Alt+V**.

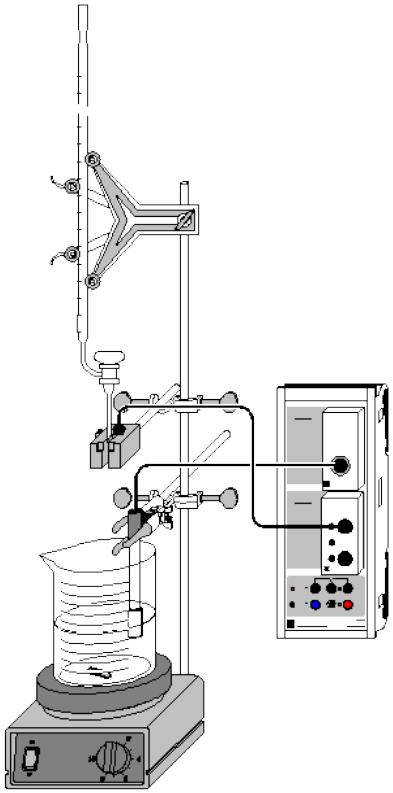
Per determinare il punto di equivalenza con una misura del pH, cliccare sul diagramma con il pulsante destro del mouse e selezionare **Altre Valutazioni** e **Trova Punto di Equivalenza**. Successivamente, con marcare range della curva, vengono calcolati e visualizzati contemporaneamente i punti di equivalenza e di metà equivalenza. Il valore del pH nel punto di metà equivalenza fornisce anche il valore di pK_a dell'acido acetico. I corrispondenti valori numerici si trovano nella linea di stato e si possono inserire nel diagramma come etichette trascinandoli con il pulsante sinistro del mouse.

In questo esempio, la pendenza della curva del pH è molto modesta per cui i risultati ottenuti sono poco significativi ai fini della determinazione del punto di equivalenza. Invece, la determinazione del punto di equivalenza mediante la conducibilità risulta molto più attendibile.

Titolazione automatica (contatore in discesa)



Alternativamente con il box di pH:



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Attenzione

Gli acidi e le basi sono sostanze corrosive. Indossare occhiali di protezione e guanti resistenti agli acidi.

Descrizione dell'esperimento

L'esperimento sulla titolazione si semplifica notevolmente utilizzando una barriera luminosa come contatore in discesa. In base al risultato del conteggio, CASSY Lab calcola automaticamente il dosaggio. Eseguita la misura del pH ed inseriti automaticamente i risultati nel diagramma pH (V), è sufficiente leggere l'esatto valore del volume totale del titolatore aggiunto in modo da poter valutare i risultati della misura.

In questo caso, viene descritto come esempio l'uso di un contatore in discesa per la titolazione dell'acido fosforico con una soluzione di potassa caustica.

In soluzione acquosa, l'acido fosforico forma i seguenti equilibri:

1. $H_3PO_4 + H_2O \rightleftharpoons H_2PO_4^- + H_3O^+$ $(pK_{a1} = 2{,}1)$

2. $H_2PO_4^- + H_2O \rightleftharpoons HPO_4^{2-} + H_3O^+$ $(pK_{a2} = 7{,}1)$

3. $HPO_4^{2-} + H_2O \rightleftharpoons PO_4^{3-} + H_3O^+$ $(pK_{a3} = 12{,}3)$

Poiché nei vari casi i valori del pK_a differiscono fra loro di circa 5, si può ritenere che gli equilibri siano indipendenti uno dall'altro.

I punti di equivalenza della prima e della seconda fase della dissociazione si possono ricavare mediante titolazione con una soluzione di potassa caustica. Poiché KOH non è una base più forte dello ione fosfato, non si riesce a determinare il terzo punto di equivalenza poiché non viene sufficientemente rispettata la parte destra dell'equilibrio 3.

Elenco delle apparecchiature (con il box di chimica o l'adattatore per pH S)

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di chimica o adattatore per pH S	524 067(2)
1	Elettrodo del pH con connettore BNC	667 4172
1	Sensore di temperatura NiCr-Ni (se necessario)	529 676
1	Box timer	524 034
1	Barriera luminosa	337 462
1	Cavo a 6 poli, 1,5 m	501 16
1	Agitatore magnetico	666 845
2	Becher, 250 ml, bassi	664 103
1	Asta di sostegno, 450 mm, filettatura M10	666 523
1	Pipetta graduata, 10 ml	665 997
1	Sfera per pipetta	666 003
1	Buretta, 50 ml	665 847
1	Buretta ad imbuto	665 816
1	Morsetto per buretta	666 559
2	Morsetti a croce	666 543
1	Morsetto universale piccolo	666 551
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Elenco delle apparecchiature (alternativamente con il box di pH)

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di pH	524 035
1	Elettrodo del pH ad asta singola	667 424
1	Box timer	524 034
1	Barriera luminosa	337 462
1	Cavo a 6 poli, 1,5 m	501 16
1	Agitatore magnetico	666 845

2	Becher, 250 ml, bassi	664 103
1	Asta di sostegno, 450 mm, filettatura M10	666 523
1	Pipetta graduata, 10 ml	665 997
1	Sfera per pipetta	666 003
1	Buretta, 50 ml	665 847
1	Buretta ad imbuto	665 816
1	Morsetto per buretta	666 559
2	Morsetti a croce	666 543
1	Morsetto universale piccolo	666 551
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Sostanze chimiche

Acido fosforico, 10 %, 100 ml	674 3440
Soluzione di potassa caustica, c = 1 mol/l, 1 l	672 4460
Soluzione buffer pH 4,00, 250 ml	674 4640
Soluzione buffer pH 7,00, 250 ml	674 4670
Acqua distillata	

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

Inserire il box di chimica con l'elettrodo del pH nell'ingresso A di Sensor-CASSY a sua volta collegato al PC. Se la temperatura è molto diversa da 25 °C, si raccomanda di collegare il sensore di temperatura all'ingresso T_1. Il valore della temperatura della soluzione ottenuto dalla misura è utilizzato automaticamente per compensare la tensione sull'elettrodo del pH.

Come alternativa al box di chimica, inserire il box di pH con l'elettrodo del pH ad asta singola nell'ingresso A di Sensor-CASSY.

Collegare il box timer all'ingresso B con la barriera luminosa collegata al connettore E mediante il cavo a 6 poli.

Assemblare il sistema di titolazione utilizzando il materiale di sostegno, l'agitatore magnetico, il becher e la buretta.

Versare nel becher 100 ml di acqua distillata ed aggiungere con la pipetta 10 ml di una soluzione al 10% di acido fosforico (c(H_3PO_4) circa 1,1 mol/l). Attraverso l'imbuto, versare nella buretta la soluzione 1 M di potassa caustica fino a raggiungere il segno zero.

Inserire l'elettrodo del pH facendo in modo che un lato del diaframma di misura sia immerso completamente ed il lato con la membrana di vetro non venga danneggiato dalla rotazione della barra dell'agitatore.

Mediante l'asta di sostegno, montare la barriera luminosa sotto l'imboccatura della buretta in modo che le gocce che escono dalla buretta cadano nel becher passando attraverso la fessura della barriera luminosa; si ottiene, così, il segnale di trigger per il sensore della barriera luminosa. Il sensore si trova circa 1 cm dietro l'apertura della barriera luminosa. L'azione del segnale di trigger è indicata dal display dello strumento N_{B1} e dal LED rosso che si trova sulla barriera luminosa. Per verificare il funzionamento, lasciar cadere alcune gocce in un becher vuoto facendole passare attraverso la barriera luminosa. Infine resettare il contatore in Settaggio Eventi NB1.

Calibrazione

Per ottenere dalla misura dei risultati precisi, bisogna calibrare l'elettrodo del pH quando viene usato per la prima volta. Successivamente, la calibrazione va ripetuta di tanto in tanto:

- Carica settaggi
- Selezionare **Corretto** in Settaggi pHA1.
- Sciacquare l'elettrodo del pH con acqua distillata, immergerlo nella soluzione buffer pH 7,00 ed agitarlo brevemente.
- Inserire 7,00 come primo valore di riferimento. Quando i risultati della misura si sono stabilizzati, premere il pulsante **Offset Corretto**.
- Sciacquare l'elettrodo del pH con acqua distillata, immergerlo nella soluzione buffer pH 4,00 ed agitarlo brevemente.
- Inserire 4,00 come secondo valore di riferimento. Quando i risultati della misura si sono stabilizzati, premere il pulsante **Fattore Corretto**.

- Contrassegnare Sensor-CASSY, l'elettrodo del pH, il box di chimica o di pH in modo da poterli usare successivamente collegandoli allo stesso ingresso (altrimenti la calibrazione memorizzata non è più valida).

Esecuzione dell'esperimento

☐ Carica i settaggi di calibrazione

- Avviare la serie di misure premendo il tasto **F9** o il pulsante .
- Aprire con cura la valvola della buretta ed aggiungere lentamente le gocce della soluzione di potassa caustica.
- Ogni cinque secondi viene registrato automaticamente il valore misurato (volume e valore di pH). Controllare che le gocce siano aggiunte a velocità costante.
- Dopo aver aggiunto circa 40 ml di KOH, chiudere la valvola, arrestare la misura (**F9** o), leggere il numero complessivo di gocce (N_0) e l'esatto volume di KOH (V_0) aggiunto.

Valutazione dei risultati

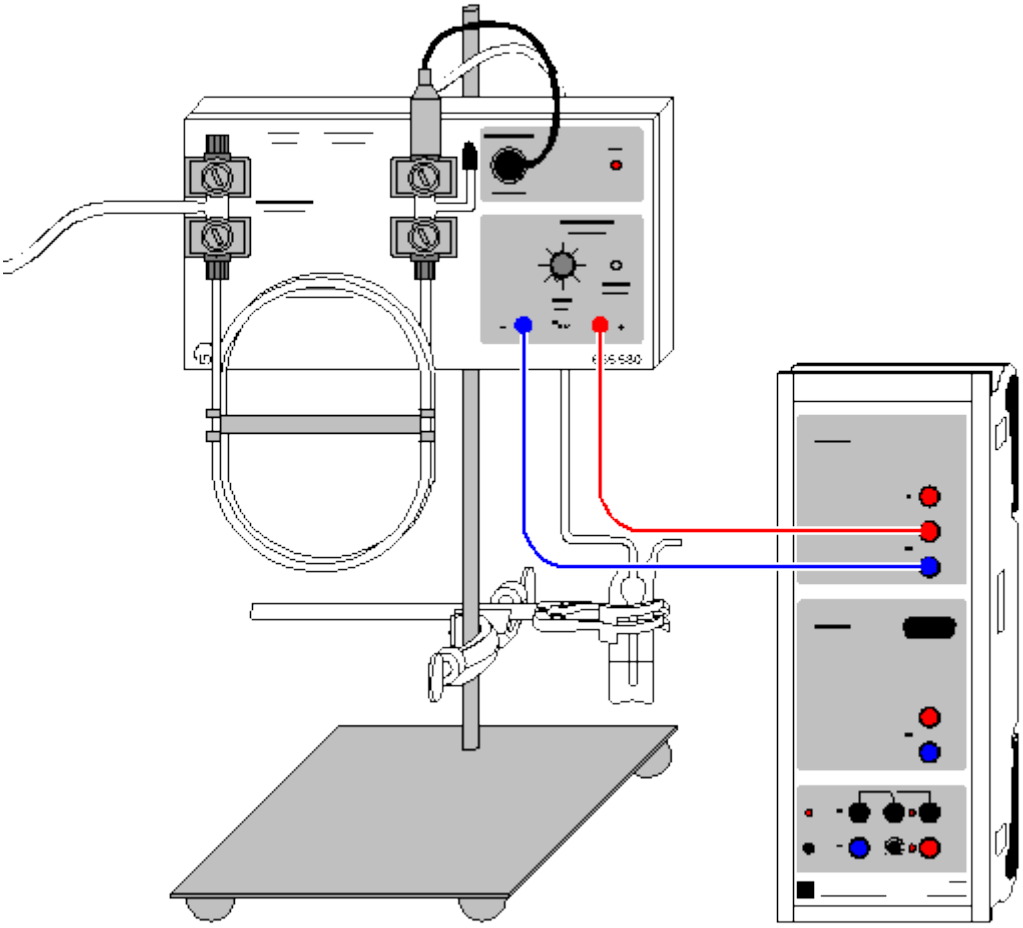
Per primo si calcola il volume medio di KOH. La formula generale da applicare è "$N_{B1} * V_0 / N_0$", dove N_{B1} è il numero di gocce, V_0 il volume totale aggiunto, N_0 il numero totale di gocce alla fine della titolazione. Inserire i valori di N_0 e V_0 trovati nel campo Formula di Settaggio Volume V al posto di "754" e "40".

La curva di titolazione, ricavata automaticamente, presenta diverse zone caratteristiche che si possono attribuire a tre equilibri di dissociazione dell'acido fosforico.

I punti di equivalenza ($V = V_{eq}$) si determinano facilmente con CASSY Lab: premendo il pulsante destro del mouse sul diagramma **Standard** quindi, selezionati **Altre Valutazioni** e **Trova Punto di Equivalenza**, marcare range della curva per determinare il punto di equivalenza. Dopo aver individuato tale range, vengono visualizzati automaticamente il punto di equivalenza ed il valore di pK_a; i valori corrispondenti sono scritti sotto la linea di stato e con il mouse si possono inserire come testo in un punto qualsiasi del diagramma.

Per altre possibili valutazioni con CASSY Lab vedere l'esperimento Titolazione dell'acido fosforico.

Gascromatografia (separazione degli alcheni dai gas leggeri)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Questo esperimento consiste nella separazione degli alcheni dai gas leggeri e nella misura della tensione fornita dal rilevatore utilizzato per registrare l'uscita del gascromatografo in funzione del tempo.

Per un'analisi qualitativa, si può determinare il tempo di permanenza dei singoli picchi e confrontarlo con quelli delle sostanze di riferimento.

Si consiglia di leggere la Scheda Istruzioni del gascromatografo.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Gascromatografo LD1	665 580
1	Colonna di separazione (dinonilftalato)	665 583
1	Sensore a idrocarburo (rivelatore)	665 582
1	Pompa ad aria	662 286
1	Contatore a bolla	309 064 75
1	Siringa, 1 ml	665 957
1	Aghi dosatori, 10 pezzi	665 960
1	Coppia di cavi, 50 cm, rosso e blu	501 45
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Sostanze chimiche

Gas leggero (campione)	
n butano, bomboletta di gas Minican	660 989
Valvola di regolazione fine	660 980

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

- Mettere a punto il gascromatografo (GC) con la colonna di separazione (dinonilftalato) e il sensore a idrocarburo (rivelatore).
- Collegare l'ingresso del GC alla pompa ad aria e l'uscita al contatore a bolla.
- Accendere la pompa ad aria.
- Collegare il GC all'unità a spina. Il LED del GC si accende.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Eseguire l'azzeramento del gascromatografo fissando la linea dello zero a circa U_{A1}=0,05 V.
- Avviare la misura di prova con **F9**.
- Appena viene registrata una linea di zero stabile, fermare la misura di prova sempre con **F9**.
- Mettere circa 1 ml di gas leggero nella siringa dopo aver tolto l'ago. Eseguire più volte questa operazione. Mettere l'ago nella siringa ed espellere il gas lasciandone 0,05 ml. Iniettare i rimanenti 0,05 ml di gas nella testa di iniezione del gascromatografo.
- Riavviare la registrazione della tensione con **F9** e continuare fino a quando compaiono tutti i picchi; infine, fermare la misura con **F9** e memorizzare la serie di rilevamenti eseguiti.
- Per identificare i singoli componenti, ripetere l'esperimento con una sostanza di riferimento, per es. n butano. Memorizzare anche questa serie di misure.

Valutazione dei risultati

Espandere con lo zoom una parte della curva in modo da occupare tutto il diagramma (aprire il menu Valutazioni cliccando sul diagramma con il pulsante destro del mouse).

Determinare i tempi di permanenza inserendo una linea verticale sul valore massimo del picco o calcolare il centro del picco. Inserire nel diagramma il tempo di permanenza come testo. Mediante il confronto tra il tempo di permanenza del picco di riferimento (n butano) ed i tempi di permanenza del campione, si trova che la quarta sostanza è n-butano.

Come alternativa si può sovrapporre la curva del campione e la curva della sostanza di riferimento. In questo caso, caricare le curve una dopo l'altra e rispondere "Si" alla domanda "Vuoi caricare la nuova serie di misure oltre a quella presente?".

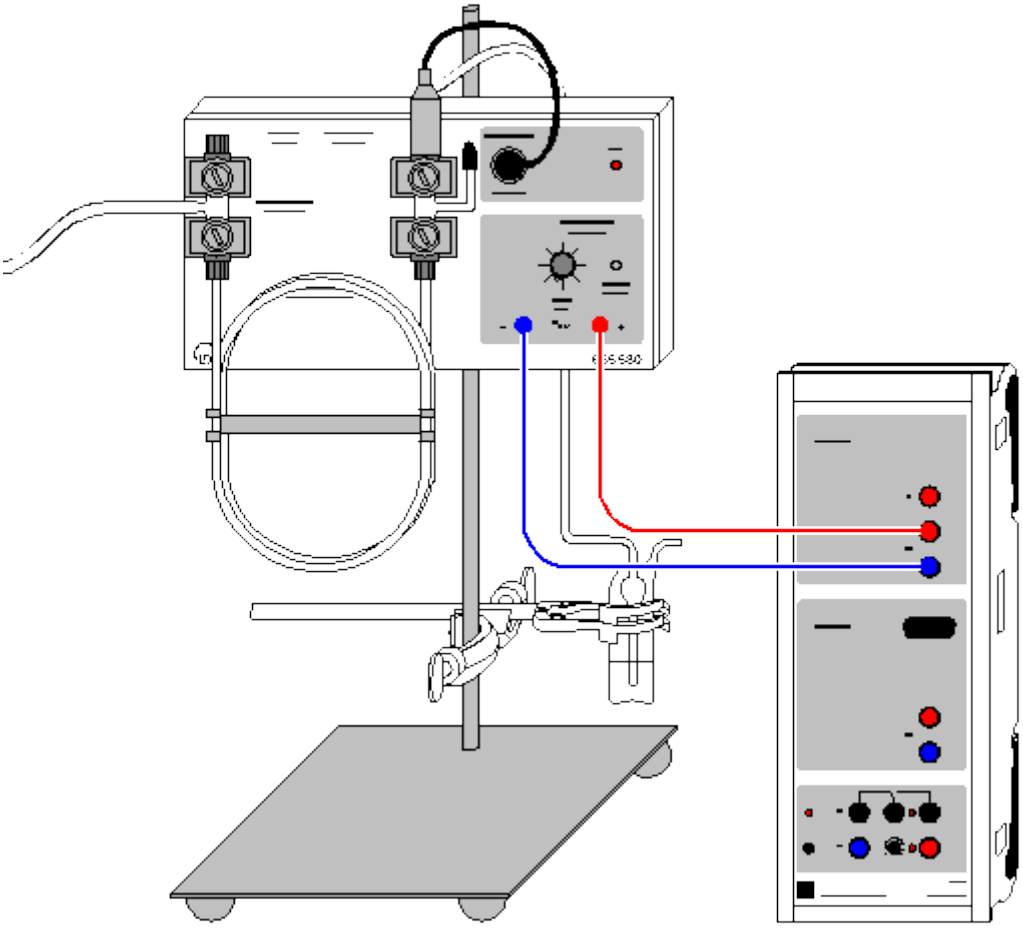
Osservazione: a causa delle variazioni di temperatura della stanza, i tempi di permanenza possono presentare delle differenze.

Altri possibili esperimenti

Come descritto nell'esempio di n butano, è possibile identificare altri componenti dei gas leggeri con le corrispondenti sostanza di riferimento (etano, propano, i butano).

Registrando i cromatogrammi di gas leggeri differenti, si possono rilevare le differenze di composizione.

Gascromatografia (separazione degli alcoli)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Questo esperimento consiste nella separazione di alcoli differenti e nella misura della tensione fornita dal rivelatore usato per registrare l'uscita del gascromatografo in funzione del tempo.

Per un'analisi qualitativa, è sufficiente determinare i tempi di permanenza dei singoli picchi. Se si determinano le aree dei picchi mediante integrazione, si esegue un'indagine quantitativa del campione.

Si consiglia di leggere la Scheda Istruzioni del gascromatografo.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Gascromatografo LD1	665 580
1	Colonna di separazione (Porapak P)	665 584
1	Sensore a idrocarburo (rivelatore)	665 582
1	Pompa ad aria	662 286
1	Contatore a bolla	309 064 75
1	Siringa microlitro, 1 µl	665 617
1	Cannule di sostituzione, serie di 3	665 616
1	Coppia di cavi, 50 cm, rosso e blu	501 45
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Sostanze chimiche

Metanolo, 250 ml	673 2700
Etanolo, abs., 250 ml	671 9700
Alcool propilico-1, 250 ml	674 4310
Alcool propilico-2, 250 ml	674 4400

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

- Preparare il campione, p. es. una soluzione di alcoli differenti come: metanolo, etanolo e alcool propilico.
- Mettere a punto il gascromatografo con la colonna di separazione (Porapak P) ed il sensore a idrocarburo (rivelatore).
- Collegare l'ingresso del gascromatografo alla pompa ad aria e l'uscita al contatore a bolla.
- Chiudere l'interruttore di alimentazione della pompa ad aria.
- Collegare il gascromatografo all'unità a spina. Il LED del gascromatografo si accende.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Eseguire l'azzeramento del gascromatografo fissando la linea dello zero a circa U_{A1}=0,05 V.
- Avviare la misura di prova con **F9**
- Appena viene registrata una linea di zero stabile, fermare la misura sempre con **F9**.
- Con la siringa microlitro, iniettare 0,5 µl di miscela di alcoli nel foro di iniezione del gascromatografo.
- Riavviare la registrazione della tensione con **F9** e continuare fino a quando compaiono tutti i picchi; infine, fermare la misura con **F9**

Valutazione dei risultati

Espandere con lo zoom una parte della curva in modo da occupare tutto il diagramma (aprire il menu Valutazioni cliccando sul diagramma con il pulsante destro del mouse).

Determinare i tempi di permanenza inserendo una linea verticale sul valore massimo del picco o calcolare il centro di picco. Inserire nel diagramma il tempo di permanenza come testo.

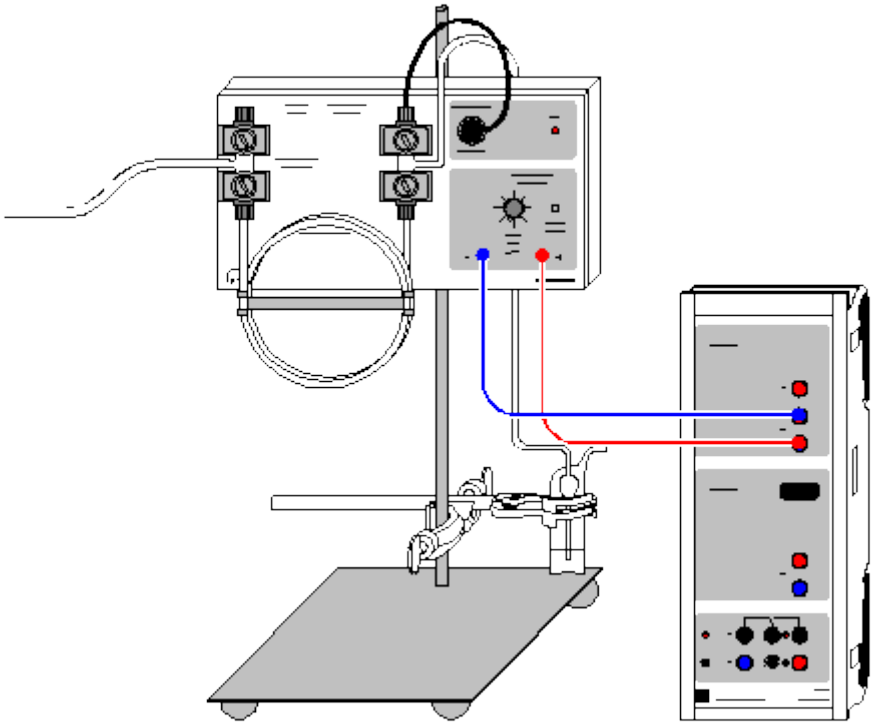
Per eseguire un'analisi quantitativa della miscela, bisogna determinare le aree dei singoli picchi con una integrazione. Si determina quindi l'area di un picco riferita alla somma delle aree di tutti i picchi. In questo esempio, l'area totale di tutti i picchi è 950 Vs. Se si considera l'area dell'etanolo, si ottiene 206 Vs / 950 Vs = 22 %. La concentrazione si può determinare con precisione mediante calibrazione con le singole sostanze oppure usando il metodo della somma.

Altri possibili esperimenti

Registrando una serie di calibrazioni con concentrazioni alcoliche note, si può determinare il contenuto alcolico di diverse bevande.

Scaldando la colonna in acqua calda, si possono separare alcoli di catene più lunghe.

Gascromatografia (separazione dell'aria)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Questo esperimento consiste nella separazione dei gas presenti nell'aria e nella misura, in funzione del tempo, della tensione all'uscita del registratore del gascromatografo alimentato da un rivelatore a conducibilità termica. Il gas portante è l'idrogeno prelevato da un serbatoio a idruro.

La determinazione dell'area dei picchi per integrazione permette di eseguire un'analisi quantitativa del campione. Per un'analisi qualitativa è sufficiente determinare i tempi di permanenza dei picchi e confrontarli con quelli delle sostanze di riferimento.

Si consiglia di leggere La Scheda Istruzioni del gascromatografo.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Gascromatografo LD1	665 580
1	Colonna di separazione (setaccio molecolare)	665 585
1	Rilevatore a conducibilità termica	665 581
1	Serbatoio a idruro di metallo	661 005
1	Valvola di regolazione	666 4792
1	Contatore a bolla	309 06 475
1	Siringa, 5 ml	665 955
1	Aghi dosatori, 10 pezzi	665 960
1	Coppia di cavi, 50 cm, rosso e blu	501 45
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

- Mettere a punto il gascromatografo (GC) con la colonna di separazione (setaccio molecolare) e il rilevatore a conducibilità termica (HCD).

- Collegare l'ingresso del GC al serbatoio a idruro di metallo e alla valvola di regolazione e l'uscita al contatore a bolla.
- Aprire la valvola di regolazione per far scorrere l'idrogeno attraverso il GC.
- Collegare il GC all'unità a spina. Il LED del GC si accende.
- Per ottenere un segnale positivo, cambiare la polarità dei cavi di collegamento alla CASSY (la conducibilità termica delle sostanze da separare è più bassa di quella dell'idrogeno).

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Eseguire l'azzeramento del GC fissando la linea dello zero a circa U_{A1}=0,05 V.
- Avviare la misura di prova con **F9**.
- Appena viene registrata una linea di zero stabile, fermare la misura campione sempre con **F9**.
- Con la siringa iniettare 2 ml di aria nella testa di iniezione del GC.
- Riavviare la registrazione della tensione con **F9**, e continuare la misura fino a quando compaiono tutti i picchi; quindi fermare la misura con **F9**.

Valutazione dei risultati

Espandere con lo zoom una parte della curva in modo da occupare tutto il diagramma (aprire il menu Valutazioni cliccando sul diagramma con il pulsante destro del mouse).

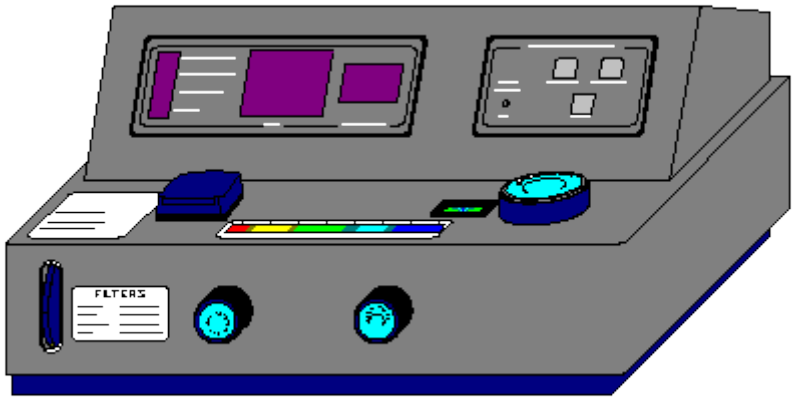
Per eseguire un'analisi quantitativa della miscela, bisogna determinare le aree dei singoli picchi con una integrazione. Si determina quindi l'area di un picco riferita alla somma delle aree di tutti i picchi. In questo esempio, l'area totale di tutti i picchi è 37,85 Vs. La percentuale del primo componente (ossigeno) è quindi 8,12 Vs / 37,85 Vs = 21 %. La percentuale della seconda sostanza (azoto) è 29,73 Vs / 37,85 Vs = 79 %. Poiché il calore specifico dei due gas è simile, non è necessario eseguire una calibrazione con le singole sostanze o applicare il metodo della somma; di solito, quest'ultimo è richiesto per una esatta determinazione delle concentrazioni.

Osservazione: lo spostamento verso l'alto della linea di zero rispetto al secondo picco (deriva), è dovuto alla variazione della temperatura ambiente durante la misura.

Altri possibili esperimenti

Con questo assemblaggio è possibile separare anche monossido di carbonio e metano, ma si possono esaminare anche altre miscele come il biogas.

Registrazione dello spettro di una soluzione di clorofilla grezza (con lo spettrofotometro 667 3491)



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

La registrazione dello spettro si ottiene misurando il coefficiente di trasmissione attraverso una soluzione di clorofilla nel campo di lunghezze d'onda compreso tra 360 nm e 800 nm. Infatti, mediante tale spettro si può determinare il massimo assorbimento delle sostanze coloranti contenute nelle foglie (lo spettro che caratterizza l'attività della fotosintesi).

Elenco delle apparecchiature

1	Spettrofotometro digitale	667 3491

Materiale necessario per la preparazione della soluzione di clorofilla

1	Mortaio	667 094
1	Pestello	667 095
1	Erlenmeyer, 100 ml, SB 19	664 241
1	Tappo di gomma, SB 19	667 255
1	Imbuto	602 670
1	Filtro rotondo, d=110 mm, 100 pz.	661 034
1	Sabbia di spiaggia, pulita, 250 g	674 8200
1	Acetone, 250 ml	670 0400

Attenzione

L'acetone è una sostanza facilmente infiammabile. Tenerlo sempre lontano dalle fiamme.

Preparazione dell'esperimento

- Tagliare in piccoli pezzi le foglie di ortica asciutte (tè) – in alternativa erba fresca o altre foglie – e metterle nel mortaio.
- Aggiungere un po' di sabbia ed, inizialmente, solo una piccola quantità di acetone in modo che la miscela possa essere macinata fino a farla diventare pastosa.
- Dopo aver macinato per 1 o 2 minuti, aggiungere da 10 a 20 ml di acetone e mescolare.
- Con l'imbuto ed un filtro rotondo piegato, filtrare nel matraccio Erlenmeyer la soluzione che ora si presenta di colore verde chiaro.
  Se l'esperimento non va eseguito immediatamente, mettere il matraccio con la soluzione di clorofilla grezza in un ambiente buio.
- Per l'esperimento, parte della soluzione deve essere diluita in modo che la trasmissione a 605 nm sia maggiore di 0 %.
- Collegare lo spettrofotometro digitale alla porta seriale e poi accendere il computer. Seguire la scheda tecnica del dispositivo.
- Avviare il programma CASSY Lab. Selezionare la porta seriale utilizzata e lo configurare lo **spettrofotometro digitale (667 3491)** come dispositivo collegato esternamente.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Riempire per ¾ una cella rotonda con la soluzione di clorofilla grezza (soluzione campione) ed una cella con la soluzione di riferimento (il solvente puro, in questo caso acetone).
- Assegnare sullo spettrofotometro come lunghezza d'onda di avvio il valore di 340 nm. (Per spiegazioni generali sull'uso del dispositivo vedere scheda istruzioni.)
- Eseguire la calibrazione con la cella di riferimento assegnando come valore 100 %T, quindi inserire la cella con la soluzione campione.
- Rilevare il valore del coefficiente di trasmissione e la lunghezza d'onda corrispondente premendo il tasto **F9** (o il pulsante con l'orologio). I loro valori vengono visualizzati nella tabella e nel grafico.
- Aumentare la lunghezza d'onda di 5 nm, e ripetere la calibrazione e la misura.
- La misura termina quando la lunghezza d'onda raggiunge il valore di 800 nm.

Nota

Per eseguire la misura come descritto precedentemente si impiega circa un'ora. Per impiegare meno tempo, eseguire la misura aumentando la lunghezza d'onda di 10 nm e/oppure terminare quando si raggiunge il valore di 730 nm.

Valutazione dei risultati

Lo spettro può essere visualizzato come trasmissione T, assorbimento A = 100-T o estinzione E = -log(T/100).

Si vede chiaramente che l'assorbimento maggiore (trasmissione più bassa) si ha intorno a 405 nm (luce blu) e 660 nm (rosso-arancio). Il menu valutazione (con il pulsante destro del mouse cliccare su Grafico) permette di evidenziare le singole lunghezze d'onda con una linea verticale. Con Testo si può scrivere il valore della lunghezza d'onda in prossimità della linea o della curva.

A causa dell'assorbimento che si ha in corrispondenza dello spettro della luce visibile, il resto dello spettro risulta più evidente in presenza di luce riflessa (superficie della foglia) o di luce trasmessa (soluzione). Questa zona si trova su una lunghezza d'onda di circa 550 nm e corrisponde alla componente verde della luce; per questo motivo la soluzione di clorofilla e le foglie sono di colore verde.

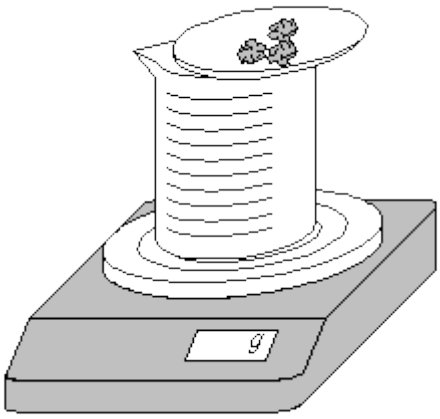
Irraggiando con luce di lunghezza d'onda intorno ai massimi dell'assorbimento, la fotosintesi ha il suo maggiore effetto, perciò la curva di assorbimento o di estinzione rappresenta anche lo spettro dell'attività della fotosintesi.

Analizzando tale spettro con maggiore precisione, si nota che esso si presenta come la sovrapposizione di tre singoli spettri, cioè quelli della clorofilla a, della clorofilla b, e del carotene β. I singoli colori delle foglie si possono separare, p. es. con la cromatografia a strato sottile.

Altri possibili esperimenti

- Indipendentemente dalla clorofilla, si possono studiare gli spettri di soluzioni con qualsiasi colorazione.
- Per diminuire il tempo necessario per eseguire l'esperimento, si può ridurre la risoluzione (per es. ad intervalli di 10 nm) ed il campo della lunghezza d'onda.
- Con il Fotometro a fila di diodi (667 347) è possibile registrare gli spettri in modo più comodo e veloce
- Eseguendo le misure con una serie di concentrazioni diverse, si può dimostrare come la trasmissione e l'estinzione sono legate alla concentrazione, p. es. una soluzione di solfato di rame in condizioni di assorbimento massimo.
- Misura dell'assorbimento massimo in funzione del tempo nelle analisi cinetiche (p. es. decolorizzazione del cristallo violetto). Le possibilità che si hanno con Inserimento formula e con i corrispondenti modi di visualizzazione e di valutazione permettono di determinare l'ordine e la costante di velocità di una reazione.

Reazione del marmo con acido cloridrico (determinazione del contenuto di carbonato)



Carica esempio

Attenzione

L'acido cloridrico è una sostanza corrosiva. Usare guanti e occhiali di protezione.

Descrizione dell'esperimento

Poiché durante la reazione del marmo con acido cloridrico si sviluppa CO_2, questo materiale subisce una diminuzione di peso che si può rilevare con una bilancia (l'interfaccia CASSY non è necessaria).

Elenco delle apparecchiature

1	CASSY Lab	524 200
1	Bilancia elettronica con uscita dati	667 795
	e cavo di collegamento	729 769
	oppure	
1	Bilancia elettronica con	667 7780
	accessori e	667 7791
	cavo d'interfaccia	667 7796
1	Becher, 250 ml, basso	664 130
1	Vetrino di orologio, Ø = 80 mm	664 154
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Sostanze chimiche

Scaglie di marmo, 250 g	673 2500
Acido cloridrico, c = 2 mol/l, 500 ml	
(circa 6-7%)	674 6920

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

Il software supporta le bilance Sartorius, Mettler ed Ohaus della LD Didactic tutte dotate della porta seriale per l'uscita dei dati.

Collegare la bilancia alla porta seriale del computer (per es. COM2) mediante il cavo di collegamento. Poiché i cavi delle varie case costruttrici sono diversi uno dall'altro, per essere sicuri che il collegamento del computer sia corretto, usare il cavo d'interfaccia fornito dal rispettivo costruttore.

Versare nel becher circa 100 ml di acido cloridrico al 6% e metterlo sulla bilancia. Mettere il vetrino da orologio sul becher. Azzerare la bilancia premendo il pulsante di tara. Pesare 5 g di scaglie di marmo dentro il vetrino da orologio.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Attraverso la finestra dei Settaggi (accessibile con **F5**), definire la bilancia come strumento di misura collegato all'interfaccia seriale utilizzata (per es. COM2).
- Definire il baud rate e i parametri di comunicazione della bilancia in Settaggi massa m:
  Settaggi delle bilance Sartorius:
  Parametri di comunicazione: 7O1
  Baud rate: 1200
  Settaggi delle bilance Mettler:
  Parametri di comunicazione: 8N1
  Baud rate: 9600
- Fare i cambiamenti tenendo conto dei settaggi della bilancia utilizzata. Leggere la scheda istruzioni della bilancia:
  Sartorius: trasferimento dati come "Stampa automatica indipendente dalla stabilità" invece di "Stampa su richiesta dopo la stabilità"
  Mettler: trasferimento dati continuo ("S.Cont")
- Visualizzazione di tutti i dati trasmessi (Troubleshooting).
- Inserire il peso delle scaglie di marmo nel calcolo del peso componenti. In Settaggi w, cambiare il valore 4,96 dell'esempio con il valore visualizzato correntemente.
- Avviare la misura con **F9**.
- Avviare immediatamente la reazione inclinando il vetrino di orologio in modo da versare nel becher le scaglie di marmo. Lasciare il vetrino di orologio inclinato sul becher.
- Osservare e registrare la reazione fino a quando il marmo non si è completamente sciolto.
- Arrestare la misura con **F9**.

Valutazione dei risultati

Per correggere le variazioni di peso che si verificano mentre si "versa" il marmo, cliccare nella tabella su "volatilizzazione" ed inserire il valore iniziale (in questo esempio 4,96 g).

Dal modo in cui varia la massa m (in g) oppure la sua composizione w (in %), si nota che inizialmente la velocità della reazione è molto elevata, quindi decresce gradualmente (con legge esponenziale) quando la concentrazione dei reagenti (numero delle molecole e degli ioni) comincia a diminuire.

In base al peso finale (guardare bene la tabella), si può determinare la quantità di CO_2 sviluppata dal marmo ($CaCO_3$).

$CaCO_3 + 2\ HCl \longrightarrow CaCl_2 + CO_2 + H_2O$

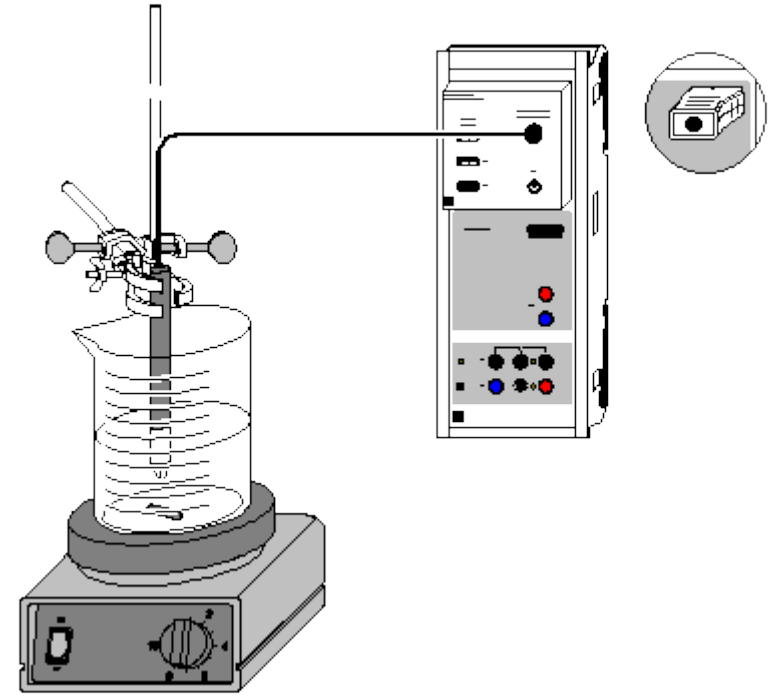
La quantità di CO_2 determinata sperimentalmente in questo esempio risulta

m_{CaO} = 2,85 g/4,96 g = 57,5 % m_{CO2} = 100 % - 57,5 % = 42,5 %

Il valore teorico è

$m_{CO2} = CO_2/CaCO_3$ = 44,0 g/100,0 g = 44,0 %.

Scissione dell'urea mediante ureasi (reazione di ordine zero)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

La scissione enzimatica dell'urea mediante ureasi può essere vista sotto diversi punti di vista. Per prima cosa, questa reazione può servire come esempio di reazione di ordine zero. L'ordine di questa reazione si riconosce dall'aumento lineare della concentrazione del prodotto.

Inoltre, si può considerare che la cinetica della catalisi sia un equilibrio tra il substrato e l'enzima oppure si può considerare come un substrato enzimatico complesso. Questo equilibrio si può confrontare con l'aumento controllato della diffusione di un substrato su una superficie cataliticamente attiva. In una seconda fase, il substrato enzimatico complesso si trasforma rapidamente nei vari prodotti.

Del resto, la reazione può servire come introduzione alla cinetica enzimatica: eseguendo diverse misure si può determinare la massima velocità di reazione, la costante di Michaelis, e la concentrazione enzimatica.

Durante l'idrolisi dell'urea

$$H_2N\text{-}CO\text{-}NH_2 + 2\,H_2O \xrightarrow{\text{Urease}} 2\,NH_4^+ + CO_3^{2-}$$

viene prodotto carbonato di ammonio il quale si dissocia in numerosi ioni; per questo motivo, è possibile seguire la reazione con una misura di conducibilità. Dai dati raccolti, si può calcolare la concentrazione dei prodotti e la velocità di reazione.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di chimica o adattatore per conducibilità S	524 067(1)
1	Sensore di conducibilità	529 670
1	Agitatore magnetico	666 845
1	Asta di sostegno, 450 mm, filettatura M10	666 523
1	Morsetto a croce	666 543

1	Becher, 100 ml, alto	664 137
1	Becher, 150 ml, alto	602 010
2	Piatti di bilancia	602 763
1	Pipetta graduata, 10 ml	665 997
1	Sfera per pipetta	666 003
1	Beuta volumetrica, 100 ml	665 793
1	Vetrino di orologio, per es. 80 mm	664 154
1	Imbuto polverizzatore, per es. 60 mm	602 681
2	Provette	664 043
2	Tappi di gomma, ∅ 14...18 mm	667 253
1	Spatola	666 961
1	Bilancia, risoluzione 0,01 g	
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Sostanze chimiche

Carbonato di ammonio, per es. 100 g	670 3900
Urea, per es. 100 g	672 1700
Ureasi (1 U/mg), per es. 5 g	675 2810
Solfato di rame (II) pentaidrato, per es. 100 g	672 9600
Acqua distillata	

Nota sui prodotti chimici

A temperatura ambiente, l'urea degenera in poche ore e l'ureasi in pochi minuti.

In aria, il carbonato di ammonio si trasforma lentamente in bicarbonato di ammonio. Poiché questo può alterare la misura della conducibilità, si consiglia di non usare prodotti troppo vecchi.

Preparazione delle soluzioni

Pesare 0,96 g di carbonato di ammonio sul vetrino di orologio e versarlo con l'imbuto nella beuta da 100 ml. Riempire la beuta fino al segno e sciogliere completamente il carbonato di ammonio.

Pesare 0,10 g di ureasi e 0,60 g di urea, ciascuno in un piatto di bilancia. Mettere le due sostanze nelle provette, quindi sciacquare con la pipetta in modo da eliminare i residui che possono essere rimasti nei piatti di bilancia; in entrambi i casi, utilizzare esattamente 10 ml di acqua distillata.

Chiudere le provette con i tappi di gomma e sciogliere le sostanze agitando il tutto. Come risultato si ottengono 10 ml di soluzione 1 M di urea e 10 ml di soluzione di ureasi con un'attività enzimatica di 10000 U/l – cioè, tenuta presente l'attività di 1 U/mg dell'ureasi, si possono trasformare 10 mmol di substrato per minuto e litro.

Calibrazione

- Carica settaggi

La costante di cella del sensore di conducibilità per il box di chimica è già predisposta su 0,58 in CASSY Lab.

Se si utilizza un altro sensore di conducibilità, la sua costante di cella va inserita come fattore in Settaggi CA1 sotto **Corretto**. Quindi premere il pulsante **Fattore corretto**.

Per determinare con maggiore precisione la costante di cella, bisogna usare le soluzioni di calibrazione:

- Sciacquare il becher di 100 ml e il sensore di conducibilità prima con acqua distillata e poi con circa 30-40 ml di soluzione di calibrazione.
- Immergere il sensore di conducibilità in 50 ml di un'altra soluzione di calibrazione come se si dovesse fare una misura di conducibilità (fare attenzione alla distanza dalle pareti del becher), inserire il valore di riferimento nella seconda linea di Settaggi CA1 sotto **Corretto**; quando dalla misura si ottiene un valore stabile, premere il pulsante **Fattore corretto**.

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

Inserire il box di chimica con il sensore di conducibilità nell'ingresso A di Sensor-CASSY.

Sciacquare il becher di 100 ml ed il sensore di conducibilità con circa 30 ml di soluzione di carbonato di ammonio. Eliminata la soluzione di lavaggio, versare nel becher la rimanente soluzione di carbonato

di ammonio e misurare la conducibilità di questa soluzione. Controllare che il sensore di conducibilità sia immerso per una profondità di almeno 2 cm e che la distanza dalle pareti del recipiente sia di almeno 1 cm (vedere scheda istruzioni).

Inserire il risultato della misura in Settaggi κ1 nel campo Formula al posto del valore di default. Questo valore serve per il calcolo della concentrazione dell'urea poiché si suppone che, completata la sua idrolisi, si ottenga una soluzione 0,1 M di carbonato di ammonio.

Assemblare il sistema di misura della conducibilità utilizzando l'agitatore magnetico, il materiale di sostegno, il sensore di conducibilità e il secondo becher. Controllare di nuovo che sia sufficiente la distanza del sensore di conducibilità dalle pareti del recipiente e dalla barra dell'agitatore.

Versare nel becher esattamente 80 ml di acqua distillata (utilizzare la pipetta graduata), aggiungere la soluzione di urea e chiudere l'interruttore dell'agitatore magnetico. Nel caso di sostanze chimiche pure, la conducibilità indicata nel display dello strumento C_{A1} non deve superare 0,02 mS/cm.

Esecuzione dell'esperimento

Carica i settaggi di calibrazione

- Avviare la misura premendo il tasto **F9** o il pulsante .
- Versare nel becher la soluzione di ureasi con la soluzione di urea.
- Dopo 2 – 3 minuti, aggiungere alla soluzione alcuni cristalli di solfato di rame mediante la spatola. Mediante i tasti **Alt+V** segnare con una linea verticale il momento in cui viene aggiunto il solfato di rame.
- Attendere che la curva della conducibilità assuma un andamento lineare. Quindi, arrestare la misura con il tasto **F9** o il pulsante .

Valutazione dei risultati

Per valutare i risultati sono disponibili diversi diagrammi:

1. Il diagramma **Conducibilità specifica** fornisce i valori della conducibilità ottenuti dalla misura in funzione del tempo. Si nota chiaramente che, prima dell'aggiunta del solfato di rame, la conducibilità aumenta linearmente; dopo che il solfato di rame si è sciolto completamente, la curva risulta quasi orizzontale. Questo dimostra l'azione tossica che il metallo pesante esercita sull'enzima.

2. Il diagramma **Concentrazione Urea** rappresenta l'andamento della concentrazione dell'urea calcolata mediante la conducibilità specifica. Si applica la formula:

$$[NH_2CONH_2] = \frac{\kappa_1 - C_{A1}}{\kappa_1 - \kappa_0} \cdot 100 \ \text{mmol/l}$$

Dove κ_1 è la conducibilità della soluzione di carbonato di ammonio misurata prima dell'esperimento (conducibilità alla fine della reazione), C_{A1} è la conducibilità misurata all'istante t, κ_0 è la conducibilità della soluzione all'inizio della reazione, 100 mmol/l è la concentrazione dell'urea all'inizio della reazione. Per calcolare la concentrazione dell'urea, bisogna inserire il primo valore della conducibilità in Settaggi κ0 nel campo Formula al posto del valore di default.

Questo calcolo è corretto finché si aggiunge solfato di rame (intervallo A del diagramma); successivamente, C_{A1} è influenzato anche dagli ioni di rame e di solfato presenti nella soluzione (intervalli B e C). Tuttavia, dopo che il solfato di rame si è sciolto completamente, la variazione relativa della conducibilità dipende solo dal modo in cui procede l'idrolisi dell'urea (C). Quindi, la velocità di reazione si può determinare dopo la contaminazione dell'urea.

La pendenza della retta con cui varia la concentrazione dell'urea in funzione del tempo fornisce il valore di $k_2 \cdot$ [ES]. Poiché nello stato stabile [ES] è quasi costante (vedere conoscenze teoriche), il diagramma della velocità di reazione r è sostanzialmente una retta. Per calcolare la velocità di reazione iniziale, approssimare il diagramma con una retta fino a $t \approx 60$ s. Cliccare sul diagramma con il pulsante destro del mouse, selezionare **Funzione Interpolazione** e **Andamento lineare migliore**, quindi marcare il range della curva corrispondente. In basso a sinistra della linea di stato, viene visualizzata la pendenza della retta come parametro A; mediante il pulsante sinistro del mouse o con **Alt+T**, si può inserire nel diagramma questo valore. Allo stesso modo si determina la pendenza della seconda retta ottenuta dopo l'aggiunta del solfato di rame. Dal confronto di queste due pendenze risulta evidente che la reazione è quasi terminata.

3. Il diagramma **Velocità di Reazione**, rappresenta la derivata della concentrazione dell'urea rispetto al tempo. Si nota chiaramente che la velocità di reazione è costante prima di aggiungere $CuSO_4$ e circa 0 successivamente. Inserendo una linea verticale sul valore di $k_2 \cdot [ES]$ ottenuto dal diagramma **Concentrazione Urea**, questa differenza risulta ancora più evidente. Dal confronto con il diagramma **Velocità di Reazione** dell'esperimento Reazione del marmo con acido cloridrico (determinazione dell'ordine di reazione) emergono meglio le differenze tra una reazione di primo ordine e la reazione di ordine zero vista in questo esperimento.

Informazioni teoriche

La velocità di reazione r è definita come la variazione di concentrazione di una delle sostanze affini o di uno dei prodotti nell'unità di tempo; quindi, essa va riferita sempre ad una delle sostanze che hanno partecipato alla reazione. La variazione di concentrazione delle sostanze reagenti entrano nel calcolo con il segno negativo mentre i prodotti della reazione hanno il segno positivo. Nella separazione enzimatica dell'urea, con riferimento alla sua concentrazione, la velocità di reazione è:

$$r_{H_2NCONH_2} = -\frac{d\left[H_2NCONH_2\right]}{dt}$$

La reazione avviene attraverso catalisi da parte dell'enzima ureasi. Il meccanismo si può descrivere in questo modo (E: enzima ureasi, S: substrato urea, ES: complesso enzima-substrato, P: prodotti):

$$E + S \underset{k_1'}{\overset{k_1}{\rightleftharpoons}} ES \xrightarrow{k_2} P$$

La velocità della reazione di scissione dell'urea è data anche dall'equazione

$$r_{H_2NCONH_2} = -\frac{d\left[H_2NCONH_2\right]}{dt} = k_2 \cdot \frac{k_1}{k_1'} \cdot [E] \cdot [S] = k_2 \cdot [ES]$$

Con riferimento a [ES], questo significa che si tratta di una reazione di primo ordine.

Poiché l'enzima E agisce come un catalizzatore, la sua concentrazione totale rimane costante durante la reazione. Se la concentrazione del substrato è sufficiente, si presenta uno stato stazionario in cui le velocità di formazione e di scomposizione del complesso enzima-substrato sono uguali:

$$k_1 \cdot [E] \cdot [S] = (k_1' + k_2) \cdot [ES]$$

Per questo motivo, la concentrazione [ES] è costante durante la reazione e la sua grandezza è controllata dal valore del coefficiente di velocità. In questo caso, si ha il cosiddetto stato stabile. Per quanto riguarda la formazione dei prodotti di reazione P, ciò avviene a velocità di reazione costante, quindi la concentrazione di urea varia linearmente. Per ciò che riguarda la scissione dell'urea mediante ureasi, tutto questo da luogo ad una equazione con velocità di ordine zero:

$$r_{H_2NCONH_2} = k_2 \cdot [ES] = k_3$$

Poiché la velocità di reazione dipende da [ES], questo legame non è spiegato dal fatto che [ES] rimane costante; questo caso viene chiamato anche reazione di ordine pseudo-zero.

Per determinare il coefficiente di velocità di una reazione di questo tipo, bisogna determinare la pendenza della retta che rappresenta la concentrazione dell'urea in funzione del tempo.

Il fatto che l'ureasi non è stabile a temperatura ambiente è dimostrato dal fatto che la velocità della reazione diminuisce quando l'esperimento dura troppo a lungo. La curva della concentrazione dell'urea ha andamento lineare solo all'inizio della reazione.

Altri possibili esperimenti

È possibile studiare più completamente la cinetica della reazione enzimatica eseguendo una serie di esperimenti utilizzando concentrazioni di urea con valori iniziali differenti (per es. 0,005 mol/l, 0,01 mol/l, 0,025 mol/l, 0,05 mol/l, 0,075 mol/l, 0,1 mol/l, 0,2 mol/l). Tracciare in un altro diagramma l'andamento della velocità di reazione in funzione della concentrazione iniziale.

Dalla massima velocità di reazione r_{max} ottenuta in questa serie di esperimenti, si può determinare la costante di Michaelis K_m. La costante K_m è definita come

$$K_m = \frac{k_1' + k_2}{k_1} = \frac{[E] \cdot [S]}{[ES]} \quad (1)$$

Essa è legata alla velocità di reazione mediante

$$r = k_2 \cdot ([E] + [ES]) \cdot \frac{[S]}{K_m + [S]} \quad (2)$$

Poiché il valore r_{max} si raggiunge quando l'enzima si satura con il substrato, ad ½ r_{max} metà dell'enzima si trasferisce nel complesso enzima-substrato. Quindi [E] = [ES] e dalla (1) si ottiene

K_m = [S] at ½ r_{max}.

Inoltre, poiché per concentrazioni elevate

$$r_{max} = k_2 \cdot ([E] + [ES]) \quad (3)$$

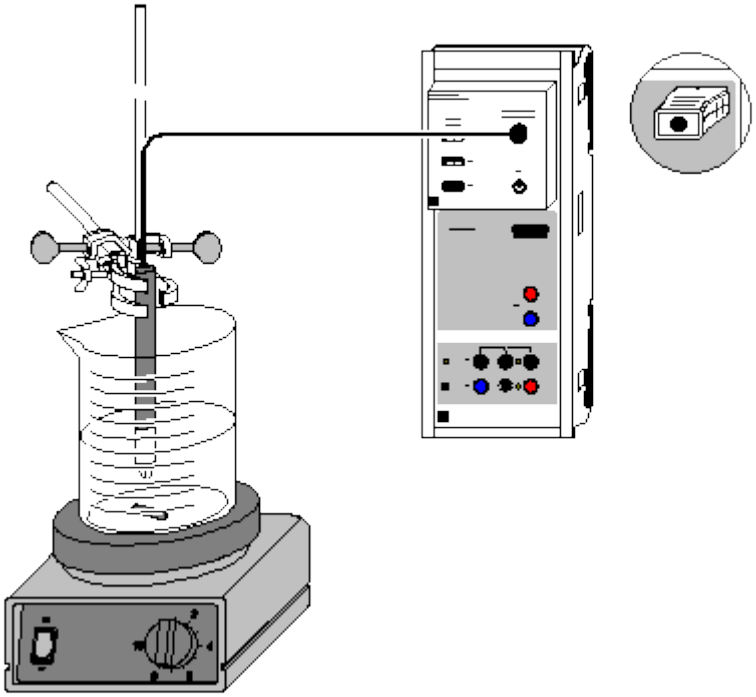
nota la costante di Michaelis e la velocità di reazione massima, mediante la (2) e (3) si può calcolare facilmente la velocità di reazione del miscuglio enzima-substrato.

La costante di Michaelis si può determinare mediante la concentrazione del substrato ad ½ r_{max}. Secondo Lineweaver-Burk, il valore di K_m si determina in modo più preciso se si traccia l'andamento di 1/r in funzione di 1/[S]. Questa operazione si basa sulla trasformazione delle (2) e (3) in:

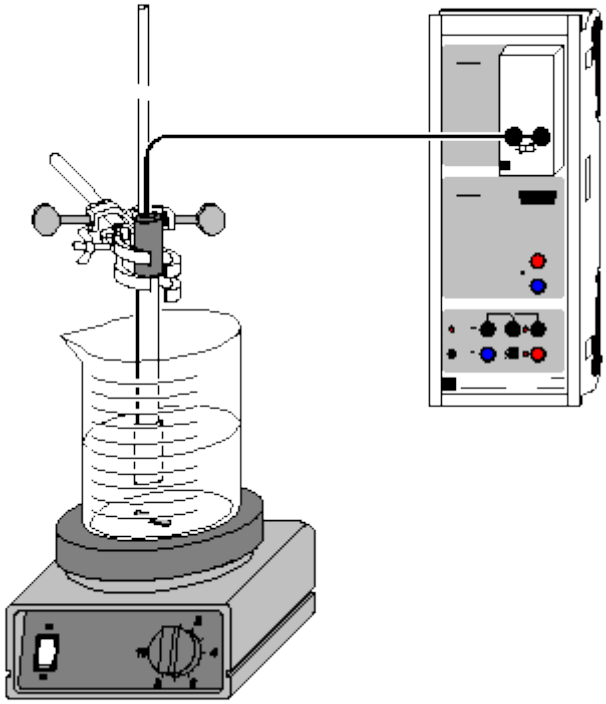
$$\frac{1}{r} = \frac{K_m}{r_{max} \cdot [S]} + \frac{1}{r_{max}}$$

Dalla pendenza della retta si ricava il termine K_m/r_{max} e dall'intersezione con l'asse 1/r si ricava $1/r_{max}$.

Idrolisi del cloruro di butile (determinazione dell'ordine di reazione)



In alternativa con il box di conducibilità:



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

L'idrolisi del cloruro di butile (2-cloro-2-metilpropano) da luogo alla formazione di butanolo e cloruro di idrogeno (con presenza di ozono e ioni cloro); ciò produce un brusco aumento della conducibilità:

$(CH_3)_3C – Cl + 2\ H_2O$ ——> $(CH_3)_3C – OH + H_3O^+ + Cl^-$

Elenco delle apparecchiature (con il box di chimica o l'adattatore per conducibilità S)

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di chimica o adattatore per conducibilità S	524 067(1)
1	Sensore di conducibilità	529 670
1	Agitatore magnetico	666 845
1	Becher, 250 ml, alto	664 113
1	Tubo di sostegno	666 607
1	Morsetto doppio	301 09
1	Pinza piccola	666 551
1	Cilindro graduato, 100 ml	665 754
1	Pipetta graduata, 1 ml	665 994
1	Sfera per pipetta	666 003
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Elenco delle apparecchiature (in alternativa con il box di conducibilità)

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di conducibilità	524 037
1	Cella per la conducibilità	667 426
1	Agitatore magnetico	666 845
1	Becher, 250 ml, alto	664 113
1	Tubo di sostegno	666 607
1	Morsetto doppio	301 09
1	Pinza piccola	666 551
1	Cilindro graduato, 100 ml	665 754
1	Pipetta graduata, 1 ml	665 994
1	Sfera per pipetta	666 003
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Sostanze chimiche

0,8 ml di soluzione di cloruro di butile (c = 0,1 mol/l) in acetone

Attenzione

L'acetone è fortemente infiammabile. Tenere lontano dalle sorgenti di calore.

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

- Montare l'agitatore magnetico sul sostegno.
- Misurare con il cilindro graduato 90 ml di acqua distillata, 10 ml di acetone e versarli nel becher.
- Aggiungere una pala all'agitatore magnetico e posizionare il becher sull'agitatore. Montare la cella per la misura della conducibilità sul sostegno facendo in modo che il livello di immersione si trovi appena sotto l'apertura. Mettere in funzione l'agitatore magnetico.
- Inserire il box di conducibilità nell'ingresso A di Sensor-CASSY e collegare la cella per la misura della conducibilità al box di conducibilità.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

Avvertenze sulla visualizzazione del valore della conducibilità

In questo esperimento, il valore iniziale della conducibilità non deve superare i 10 µS/s. Qualora si dovesse verificare tale circostanza, lavare la cella con acqua distillata.

In alternativa, si può correggere l'offset in Settaggi Conducibilità (cliccare sul display con il pulsante destro del mouse) per assegnare zero come valore iniziale.

- Calibrare la cella di misura. Per questa operazione, aprire Settaggi Conducibilità (cliccare sul display con il pulsante destro del mouse), inserire il fattore stampato sulla cella e selezionare **Fattore Corretto**.
- Con la pipetta graduata misurare 0,8 ml di soluzione di cloruro di butilene (c = 0,1 mol/l).
- Dal programma, avviare la misura cliccando sull'orologio (o premendo **F9**).
- Sciogliere rapidamente il cloruro di butilene nel becher. Marcare nel diagramma il tempo d'iniezione con una linea verticale premendo i tasti **Alt+V**.
- Dopo circa 8 minuti, terminare la misura cliccando sull'orologio (oppure con **F9**); a questo punto la conducibilità presenta una variazione trascurabile. Eventualmente, si può aumentare il range della misura in Settaggi CA1.

Valutazione dei risultati

Per questo esperimento, sono previsti quattro metodi di valutazione:

Visualizzazione della variazione di concentrazione

Per seguire le variazioni della concentrazione c del cloruro di butilene, cliccare su **Concentrazione**. Il calcolo della concentrazione espressa in mmol/l viene eseguito prendendo in considerazione la quantità della sostanza (0,8 ml 0,1 mol di soluzione), la conducibilità iniziale C_{A1} e la conducibilità finale (in questo caso si ha: 198,9 µS/cm; è possibile cambiare questo valore in base alla conducibilità che si legge nella tabella).

In Settaggi c, si può vedere la formula di conversione **(1 – CA1/198,9)*0,8** ed eventualmente modificarla; lo stesso avviene per l'intervallo di visualizzazione.

Test per reazione di 1° ordine

Selezionare l'etichetta **Test per 1° Ordine**. Essa mostra l'espressione $\ln(c_A/c)$ in funzione di t (c_A = concentrazione iniziale, c = quantità di cloruro di butile utilizzata). Per determinare la costante k della velocità di reazione, utilizzare l'andamento lineare migliore in grado di approssimare meglio la parte iniziale della curva (con il pulsante destro del mouse cliccare sulla linea che approssima meglio il diagramma) e determinare la sua pendenza. Mediante Set Marker, si può inserire una etichetta che indica la pendenza (A) della retta.

Test per reazione di 2° ordine

Selezionare l'etichetta **Test per 2° Ordine**. Essa mostra l'espressione $1/c - 1/c_A$ in funzione di t (c_A = concentrazione iniziale, c = quantità di cloruro di butilene utilizzata). In questo caso, il diagramma non ha andamento lineare perché la reazione è di secondo ordine.

Metodo del tempo intermedio

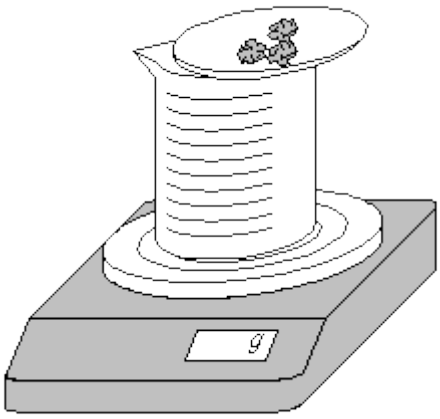
Nel diagramma **Tempo intermedio**: poiché in questo caso la reazione è di primo ordine, la costante di velocità si può determinare con il metodo del tempo intermedio. Con i tasti **Alt+H** inserire delle linee orizzontali in corrispondenza di 0,4 mmol, 0,2 mmol, e 0,1 mmol; marcare i punti di intersezione di queste linee con la curva della concentrazione inserendo delle linee verticali (**Alt+V**). Il tempo intermedio $t_{1/2}$ è metà dell'intervallo di tempo compreso tra tutte le linee verticali; in questo esempio esso vale 63 s.

Inserire il tempo intermedio determinato in questo esperimento in Settaggi k come denominatore della formula **ln 2/63**. Il risultato compare nel display dello strumento k.

Altri possibili esperimenti

- Attivazione e registrazione dell'idrolisi a diverse temperature. Se si eseguono più misure, confrontare i risultati ottenuti sovrapponendo le diverse curve. In questo modo, è possibile analizzare i fattori che influiscono sull'andamento e sulla velocità della reazione. Mediante le diverse costanti di velocità ed i corrispondenti valori di temperatura, si può determinare l'energia sviluppata dalla reazione.
- Utilizzare diversi solventi per analizzare come essi influiscono sull'ordine e sulla velocità della reazione.
- Analizzare le reazioni enzimatiche, per esempio la scissione dell'urea mediante ureasi.

Reazione del marmo con acido cloridrico (determinazione dell'ordine di reazione)



Carica esempio

Attenzione

L'acido cloridrico è una sostanza corrosiva. Indossare guanti e occhiali di protezione.

Descrizione dell'esperimento

Facendo reagire un'abbondante quantità di marmo (calce, $CaCO_3$) con una quantità prestabilita di acido cloridrico, si può determinare l'ordine di reazione per mezzo di una bilancia. Le due sostanze reagiscono secondo questa equazione:

$$CaCO_3 + 2\,H_3O^+ \xrightarrow[aq.]{} Ca^{2+} + CO_2\uparrow + 3\,H_2O$$

Poiché l'anidride carbonica è una sostanza volatile, la massa del miscuglio diminuisce continuamente. Questa diminuzione si può misurare con una bilancia e si può determinare, così, la variazione della concentrazione di acido cloridrico.

Elenco delle apparecchiature

1	CASSY Lab	524 200
1	Bilancia elettronica con uscita dati	667 795
	e cavo di collegamento	729 769
	oppure	
1	Bilancia elettronica con	667 7780
	accessori e	667 7791
	cavo d'interfaccia	667 7796
1	Becher, 250 ml, basso	664 130
1	Vetrino di orologio, 80 mm	664 154
1	Pipetta a bulbo, 25 ml	665 976
1	Sfera per pipetta	666 003
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Sostanze chimiche

Scaglie di marmo, 250 g	673 2500
Acido cloridrico, c = 2 mol/l, 500 ml	674 6920

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

Il software è compatibile con le bilance Sartorius, Mettler ed Ohaus della LD Didactic tutte dotate della porta seriale per l'uscita dei dati.

Collegare la bilancia alla porta seriale del computer (per es. COM2) mediante il cavo di collegamento. Poiché i cavi delle varie case costruttrici sono diversi uno dall'altro, per essere sicuri che il collegamento del computer sia corretto, usare il cavo d'interfaccia fornito dal rispettivo costruttore.

Con la pipetta versare nel becher esattamente 75 ml di acido cloridrico. Mettere il vetrino da orologio sul becher, azzerare la bilancia e pesare esattamente 30 g di scaglie di marmo dentro il vetrino da orologio. Eseguire di nuovo l'azzeramento della bilancia.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Definire la bilancia come strumento di misura collegato all'interfaccia desiderata attraverso Settaggi Generali (accessibile, con **F5**).
- Definire il baud rate e i parametri di comunicazione della bilancia in Settaggi mass m:
  Settaggi delle bilance Sartorius:
  Parametri di comunicazione: 7O1
  Baud rate: 1200
  Settaggi delle bilance Mettler:
  Parametri di comunicazione: 8N1
  Baud rate: 9600
- Fare i cambiamenti tenendo conto dei settaggi della bilancia utilizzata. Leggere la scheda istruzioni della bilancia:
  Sartorius: trasferimento dati come "Stampa automatica indipendente dalla stabilità" invece di "Stampa su richiesta dopo la stabilità"
  Mettler: trasferimento dati continuo ("S.Cont")
- Visualizzazione di tutti i dati trasmessi (Troubleshooting).
- Avviare la misura premendo **F9** o il pulsante .
- Avviare immediatamente la reazione inclinando il vetrino di orologio in modo da versare nel becher le scaglie di marmo. Lasciare il vetrino di orologio inclinato sul becher.
- Terminata la reazione (circa 10 minuti), arrestare l'acquisizione dei dati con il tasto **F9** o con il pulsante .

Valutazione dei risultati

Le fluttuazioni dei dati all'inizio della misura sono dovute al movimento del vetrino di orologio; esse si possono correggere cliccando con il mouse sui rispettivi valori ed inserendo "0".

1. Diagramma **Standard**: i risultati della misura forniscono la massa m di anidride carbonica volatilizzata durante la reazione (vedere equazione della reazione). Da questi dati, calcolare la quantità di $n(CO_2)$ eliminata e quindi la concentrazione di acido $[H_3O^+]$ rimasto:

$$n(CO_2) = -\frac{m}{44\ g/mol}$$

$$[H_3O^+] = \frac{2\,mol/l \cdot 0{,}075\ l - 2 \cdot n(CO_2)}{0{,}075\ l + 3 \cdot n(CO_2) \cdot 0{,}018\ l}$$

Nella seconda equazione, il numeratore si riferisce alla quantità di acido e il denominatore si riferisce a tutto il volume.

2. Diagramma **1° ordine**: il diagramma fornisce il logaritmo naturale della concentrazione di acido cloridrico in funzione del tempo come test di una reazione del primo ordine relativa all'acido cloridrico. Nel caso di una reazione di primo ordine, il diagramma è una retta di pendenza -k.

Per determinare il coefficiente di velocità k, cliccare sul diagramma con il pulsante destro del mouse, selezionare **Funzione Interpolazione** e **Andamento lineare migliore** e marcare il range della curva che si può approssimare con una retta. La pendenza della retta ottenuta per approssimazione viene visualizzata in basso a sinistra della linea di stato, il suo valore si può trascinare sul diagramma con il mouse. In questo esempio si è ottenuto un coefficiente di velocità di 0,01541/s.

In questo esperimento, il diagramma della velocità della reazione di primo ordine non ha andamento lineare in tutto il campo poiché, dopo che una parte dell'acido cloridrico ha reagito con il marmo, la velocità è condizionata dalla diffusione; infatti, quando la concentrazione dell'acido cloridrico diminuisce, esso reagisce più velocemente degli ioni H_3O^+ che si spostano verso la superficie del marmo. Quindi il coefficiente di velocità diminuisce per cui si nota una deviazione rispetto all'equazione della velocità. Comunque, la reazione rispetta bene l'equazione della velocità fino a quando la percentuale di acido cloridrico consumato nella reazione raggiunge il valore di 80 %.

3. Diagramma del **2° ordine**: il diagramma fornisce l'andamento del termine $1/[H_3O^+]$ in funzione del tempo come test di una reazione di secondo ordine relativa all'acido cloridrico. Se la reazione è di secondo ordine, il diagramma è una retta di pendenza k.

In questo esperimento, la concentrazione degli ioni H_3O^+ utilizzata per i calcoli è quella che si raggiunge mediamente dopo 10 secondi; in questo modo vengono attenuati i salti che si verificano quando la percentuale di acido consumato ha superato il 95 %. Questi salti sono dovuti alla limitata risoluzione della bilancia.

A causa della non linearità di questa parte del diagramma, si deduce che in questo esperimento non ci sono equazioni di secondo ordine.

4. Il diagramma **Velocità di reazione** fornisce l'andamento della velocità di reazione r e l'ordine di reazione. Poiché la risoluzione della bilancia non è sufficientemente grande – per cui la dimostrazione sperimentale risulta più difficoltosa – per ottenere migliori risultati, in questo diagramma al posto di r si preferisce tracciare l'andamento della velocità di reazione r_m che si raggiunge mediamente dopo 10 secondi.

Informazioni teoriche

La velocità di reazione r è definita come la variazione di concentrazione di una delle sostanze affini o di uno dei prodotti nell'unità di tempo; quindi, essa va riferita sempre ad una delle sostanze che hanno partecipato alla reazione. La variazione di concentrazione delle sostanze reagenti entrano nel calcolo con il segno negativo mentre i prodotti della reazione hanno il segno positivo. Nella reazione

$$CaCO_3 + 2\,H_3O^+ \xrightarrow[aq.]{} Ca^{2+} + CO_2\uparrow + 3\,H_2O$$

la velocità di reazione r riferita alla concentrazione degli ioni H_3O^+ è

$$r_{H_3O^+} = -\frac{d\left[H_3O^+\right]}{dt}$$

.

Essa è il doppio della velocità di reazione riferita alla concentrazione degli ioni calcio poiché sono necessari due ioni H_3O^+ per creare uno ione calcio:

$$r_{Ca^{2+}} = \frac{1}{2} r_{H_3O^+} = \frac{d\left[Ca^{2+}\right]}{dt}$$

.

Per trovare il legame tra la velocità di reazione e la concentrazione delle sostanze che vi partecipano, bisogna determinare sperimentalmente l'equazione della velocità che controlla la reazione. L'ordine di reazione riferita ad una particolare sostanza è dato dall'esponente della sostanza riportata nell'equazione della velocità. L'ordine di reazione complessivo è dato dalla somma degli esponenti. Nella reazione

$$CaCO_3 + 2\,H_3O^+ \xrightarrow[aq.]{} Ca^{2+} + CO_2\uparrow + 3\,H_2O$$

si può determinare facilmente l'ordine di reazione solo per gli ioni che si trovano nella soluzione. Per una reazione di primo ordine l'equazione della velocità è la seguente:

$$r_{H_3O^+} = 2 \cdot \frac{d\left[Ca^{2+}\right]}{dt} = -\frac{d\left[H_3O^+\right]}{dt} = k \cdot \left[H_3O^+\right]$$

Per integrazione, si ottiene l'equazione della retta

$$\ln\left[H_3O^+\right] = -k \cdot t + \ln\left[H_3O^+\right]_0$$

di pendenza -k ed $\ln[H_3O^+]_0$ come intersezione con l'asse; $[H_3O^+]_0$ è la concentrazione iniziale dell'acido.

Per una reazione di secondo ordine riferita alla concentrazione di H_3O^+, l'equazione della velocità è la seguente:

$$r = -\frac{d\left[H_3O^+\right]}{dt} = k \cdot \left[H_3O^+\right]^2$$

.

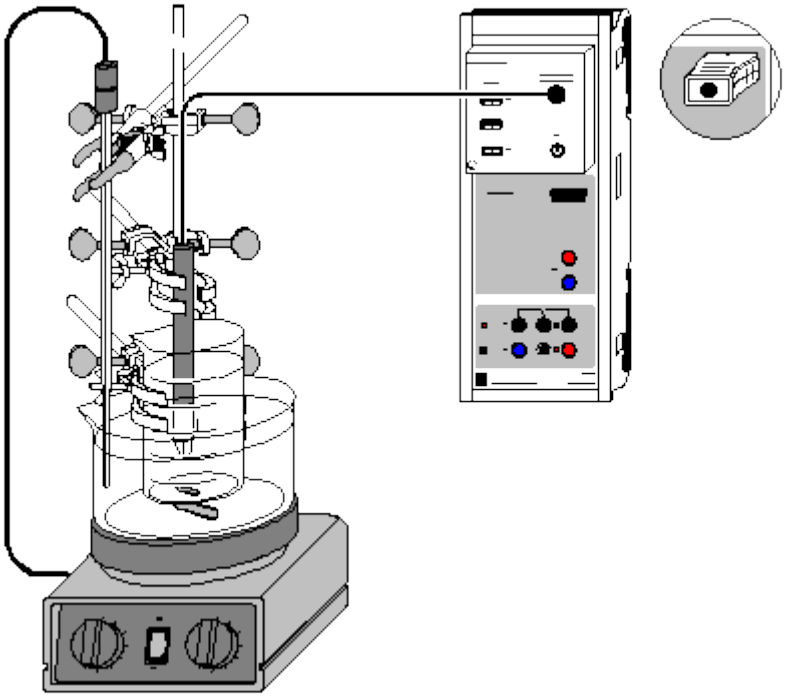
Per integrazione, si ottiene l'equazione della retta

$$\frac{1}{[H_3O^+]} = k \cdot t + \frac{1}{[H_3O^+]_0}$$

di pendenza k ed $1/[H_3O^+]_0$ come intersezione con l'asse.

Tracciando queste due rette, si può esaminare come si sviluppa una reazione che obbedisce, rispettivamente, ad una equazione della velocità di primo o di secondo ordine.

Idrolisi alcalina dell'acetato di etile (determinazione dell'ordine di reazione)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Norme di sicurezza

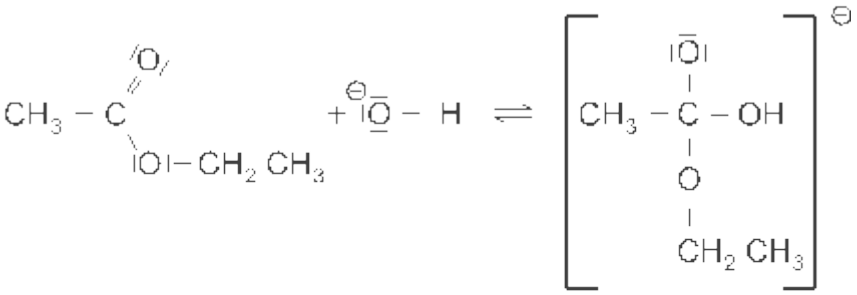
L'acetato di etile è fortemente infiammabile. Tenersi lontani dalle fiamme.

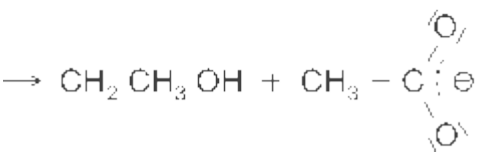
L'acetato di etile irrita gli occhi. Quando si lavora con l'acetato di etile mettere gli occhiali di protezione. Se questa sostanza si trova a contatto degli occhi, lavarli immediatamente con acqua e consultare un medico.

Il vapore dell'estere può provocare un sensibile stordimento; non respirare questo vapore.

Descrizione dell'esperimento

L'idrolisi alcalina degli esteri si sviluppa in due fasi:





Poiché durante la reazione gli ioni acetato vanno in soluzione al posto degli ioni idrossido, è possibile seguire la reazione con una misura di conducibilità. Dall'andamento nel tempo della concentrazione degli ioni idrossido ottenuto con questa misura, si può determinare l'ordine di reazione e il coefficiente

di velocità dell'idrolisi di un estere alcalino. Poiché il coefficiente di velocità dipende dalla temperatura, si raccomanda di eseguire l'esperimento in un bagno d'acqua mantenuto a temperatura costante.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di chimica o adattatore per conducibilità S	524 067(1)
1	Sensore di conducibilità	529 670
1	Agitatore magnetico con piastra di riscaldamento	666 839
1	Asta di contatto per termometro KT4	666 8401
1	Barra per agitatore, 50 mm	666 854
1	Barra per agitatore, 15 mm	666 850
1	Asta di sostegno, 500 mm, ∅ = 10 mm	301 27
3	Morsetti a croce	666 543
2	Morsetti universali piccoli	666 551
1	Morsetto universale	666 555
1	Becher 100 ml, alto	664 137
1	Capsula di cristallizzazione, 900 ml	664 177
1	Siringa, 2 ml	665 963
1	Ago per siringa, 40 mm	665 960
1	Pipetta a bulbo, 25 ml	665 976
1	Sfera per pipetta	666 003
1	Bilancia, risoluzione 0,01 g	
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Sostanze chimiche

Acetato di etile, per es. 250 ml	671 9630
Soluzione di soda caustica, c = 0,1 mol/l, per es. 500 ml	673 8410
Se necessario: soluzione di calibrazione, 12,88 mS/cm	667 4640

Calibrazione

Carica settaggi

- La costante della cella del sensore di conducibilità per il box di chimica è già predisposta su 0,58 in CASSY Lab. Se si utilizza un altro sensore di conducibilità, bisogna inserire la sua costante di cella come fattore in Settaggi CA1 sotto **Corretto**. Quindi premere il pulsante **Fattore Corretto**.
- Per determinare con maggiore precisione la costante della cella si possono usare la soluzioni di calibrazione: sciacquare il becher e il sensore di conducibilità prima con acqua distillata e poi con circa 30-40 ml di soluzione di calibrazione. Immergere il sensore di conducibilità in altri 50 ml di soluzione di calibrazione come se si dovesse fare una misura di conducibilità (controllare che sia ad una distanza di almeno 1 cm dalle pareti del becher), inserire il valore di riferimento nella seconda linea in Settaggi CA1 sotto **Corretto** e premere il pulsante **Fattore Corretto** quando i valori della misura si sono stabilizzati.
- Contrassegnare il sensore utilizzato, il box di chimica e Sensor-CASSY altrimenti la calibrazione memorizzata non è più valida.

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

Riempire fino all'orlo la capsula di cristallizzazione con acqua di rubinetto e metterla con la barra più grande nell'agitatore magnetico. Mediante il morsetto universale, fissare il becher con l'altra barra dell'agitatore all'asta di sostegno in modo tale che il becher resti sospeso nella capsula di cristallizzazione. Il becher deve essere immerso il più profondamente possibile al centro del bagno d'acqua sopra l'agitatore magnetico. Con la pipetta versare nel becher esattamente 75 ml di soluzione di soda caustica (0,0075 mol).

Immergere l'asta di contatto del termometro nel bagno d'acqua ed il sensore di conducibilità nel becher utilizzando per entrambi un morsetto universale piccolo. Fare attenzione che il sensore di conducibilità sia almeno ad 1 cm di distanza dalle pareti di vetro e dalla barra dell'agitatore magnetico.

Fissare il regolatore di temperatura dell'agitatore magnetico in modo da raggiungere al massimo 80 °C. Fissare l'asta di contatto del termometro, che deve essere collegato all'agitatore magnetico, in modo da raggiungere una temperatura di circa 40 - 45 °C. Regolare la velocità dell'agitatore in modo da evitare la formazione di vortici.

Attendere che la temperatura della soluzione di soda caustica abbia raggiunto un valore costante. Questo si può controllare sul display dello strumento di misura della temperatura ϑ_{A1} (accessibile tramite il pulsante corrispondente che si trova nel bordo superiore dello schermo) oppure, in modo più comodo, avviando una misura premendo il tasto **F9**.

Mettere la siringa vuota con l'ago sulla bilancia ed azzerare la bilancia. Mettere nella siringa esattamente 1,32 g di acetato di etile (0,015 mol).

Esecuzione dell'esperimento

- Carica i settaggi di calibrazione

- Avviare la nuova misura premendo **F9** o il pulsante .
- Iniettare l'acetato di etile in modo da distribuirlo uniformemente. Premendo i tasti **Alt+V**, inserire nel diagramma una linea verticale per evidenziare l'istante di iniezione.
- In base alla temperatura a cui avviene la reazione, lasciare che essa proceda per circa 8 - 12 minuti, fino a quando la conducibilità risulta costante.
- Arrestare la misura premendo il tasto **F9** o il pulsante . Aprire l'interruttore della piastra di riscaldamento.

Valutazione dei risultati

1. Nel diagramma **Conducibilità Specifica**, sono riportati i valori della conducibilità specifica e della temperatura in funzione del tempo di reazione. Per determinare esattamente il tempo di reazione, cliccare sul diagramma con il pulsante destro del mouse, selezionare **Traccia Valore Medio** in modo da ottenere la temperatura media alla quale viene eseguito l'esperimento marcando il tratto di curva compreso tra la temperatura iniziale e quella finale. Il valore medio viene riportato automaticamente nel diagramma e si può leggere in basso a sinistra della linea di stato. Il valore numerico si può inserire nel diagramma con i tasti **Alt+T**.

2. Il diagramma **Concentrazione Idrossido** mostra l'andamento della concentrazione degli ioni idrossido ricavati dalla conducibilità specifica. La concentrazione degli ioni $[OH^-]$ si calcola con la formula

$$\left[OH^-\right] = \frac{C_{A1} - \kappa_1}{\kappa_0 - \kappa_1} \cdot 0{,}1 \ \text{mol/l}$$

In questa formula, C_{A1} è il valore della conducibilità ricavato con la misura, κ_0 è la conducibilità prima di aggiungere l'estere, κ_1 è la conducibilità al termine della reazione e 0,1 mol/l è la concentrazione della soluzione di soda caustica all'inizio della reazione. Per calcolare in modo corretto la concentrazione degli ioni idrossido, inserire i rispettivi valori ottenuti dalla misura in Settaggi $\kappa 1$ e $\kappa 0$ nel campo formula al posto dei valori di default.

3. I diagrammi **1° Ordine** e **2° Ordine** servono a determinare l'ordine della reazione: per approssimare la curva con una retta, cliccare sul diagramma con il pulsante destro del mouse, selezionare **Funzione Interpolazione** e **Andamento lineare migliore**, quindi, a partire dall'inizio della reazione, marcare il range della curva che si avvicina il più possibile ad una retta. La maggiore deviazione dall'andamento rettilineo che si ha nel diagramma **1° Ordine** e la maggiore approssimazione ad una retta che invece si ha nel diagramma **2° Ordine** fino al consumo di circa il 90% delle sostanze reagenti, sta ad indicare che in questo caso si tratta di una reazione di secondo ordine. La pendenza della retta nel diagramma **2° Ordine** rappresenta il coefficiente di velocità k della reazione. Questo coefficiente si trova nella linea di stato come parametro A della retta di equazione A*x+B e si può trascinare nel diagramma con il mouse.

4. I diagrammi **Arrhenius / Eyring 1** e **2** servono a determinare i parametri di attivazione. Per maggiori dettagli, vedere l'esperimento Idrolisi alcalina dell'acetato di etile – determinazione dei parametri di attivazione.

Informazioni teoriche

La velocità di reazione r è definita come la variazione di concentrazione di una delle sostanze affini o di uno dei prodotti nell'unità di tempo; quindi, essa va riferita sempre ad una delle sostanze che hanno partecipato alla reazione. La variazione di concentrazione delle sostanze reagenti entrano nel calcolo con il segno negativo mentre i prodotti della reazione hanno il segno positivo. Nell'idrolisi degli esteri alcalini, la velocità di reazione riferita alla concentrazione dell'estere è uguale a quella riferita alla concentrazione dell'idrossido, per cui le due sostanze reagiscono una con l'altra nel rapporto 1:1:

$$r_{OH^-} = r_{CH_3COOAc} = -\frac{d[OH^-]}{dt} = -\frac{d[CH_3COOAc]}{dt}$$

Per trovare il legame tra la velocità di reazione e la concentrazione delle sostanze che vi partecipano, bisogna determinare sperimentalmente l'equazione della velocità che controlla la reazione. L'ordine di reazione riferita ad una particolare sostanza è dato dall'esponente della sostanza riportata nell'equazione della velocità. L'ordine di reazione complessivo è dato dalla somma degli esponenti.

Nell'esempio di questo esperimento, si esaminano i due ordini della reazione: se la reazione rispetto alla concentrazione di idrossido è di primo ordine ed è indipendente dalla concentrazione dell'estere, l'equazione della velocità risulta complessivamente del primo ordine:

$$r_{OH^-} = -\frac{d[OH^-]}{dt} = k \cdot [OH^-]$$

Si ha la stessa equazione della velocità se la reazione risulta di primo ordine rispetto alla concentrazione dell'estere ed è indipendente dalla concentrazione dell'idrossido poiché

$$\frac{d[OH^-]}{dt} = \frac{d[CH_3COOAc]}{dt}.$$

Per verificare la validità di questa equazione della velocità, si ricorre alla sua forma integrata:

$$\ln[OH^-] = -k \cdot t + \ln[OH^-]_0$$

se si traccia l'andamento di $\ln[OH^-]$ in funzione del tempo t, nel caso di una reazione di primo ordine si ottiene una retta di pendenza -k e $\ln[OH^-]_0$ come intersezione con l'asse; $[OH^-]_0$ è la concentrazione iniziale degli ioni idrossido.

Nel caso di una reazione di primo ordine rispetto a entrambi i componenti, come risultato si ottiene un'equazione di velocità del secondo ordine:

$$-\frac{d[OH^-]}{dt} = -\frac{d[CH_3COOAc]}{dt} = k \cdot [OH^-] \cdot [CH_3COOAc]$$

La forma integrata dell'equazione di velocità è la seguente:

$$\ln \frac{[OH^-]_0 \cdot \left([CH_3COOAc]_0 - \left([OH^-]_0 - [OH^-]\right)\right)}{[CH_3COOAc]_0 \cdot [OH^-]} \cdot \frac{1}{[CH_3COOAc]_0 - [OH^-]_0} = k \cdot t$$

L'andamento rispetto al tempo t dell'espressione sulla sinistra è simile a quello del diagramma **2° Ordine**. Questa funzione ha un andamento lineare fino a quando viene consumato il 90% delle sostanze reagenti; la sua pendenza rappresenta il coefficiente di velocità della reazione.

Se inizialmente le due sostanze hanno la stessa concentrazione, l'equazione della velocità assume la forma più semplice

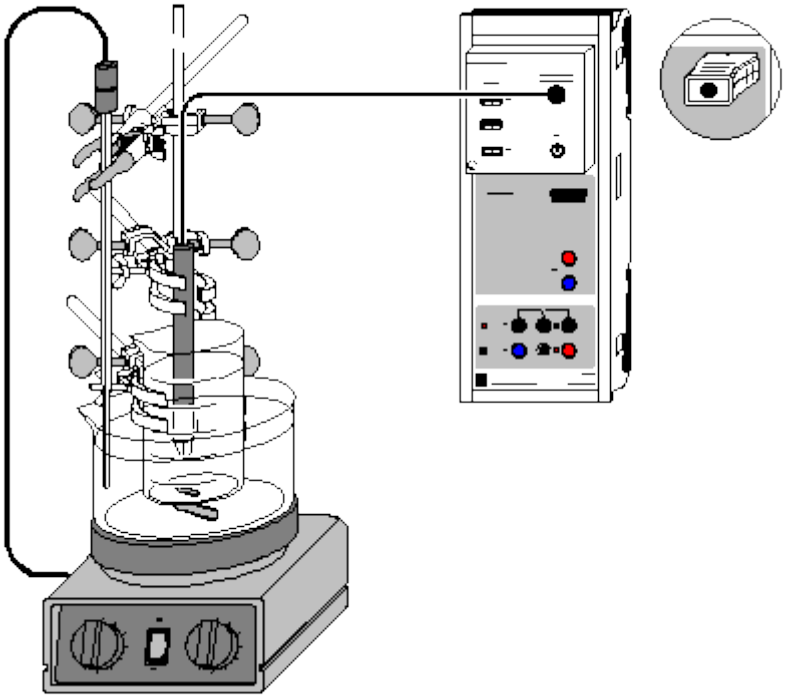
$$-\frac{d[OH^-]}{dt} = -\frac{d[CH_3COOAc]}{dt} = k \cdot [OH^-]^2.$$

Dal suo integrale

$$\frac{1}{[OH^-]} = k \cdot t + \frac{1}{[OH^-]_0}$$

si ottiene l'andamento di $1/[OH^-]$ in funzione del tempo t; tale andamento, nel caso di una reazione di secondo ordine, è una retta di pendenza k ed ha $1/[OH^-]_0$ come intersezione con l'asse. Poiché l'uso di soluzioni di un estere e di soda caustica della stessa molarità aumenta eccessivamente la durata della reazione, in questo esperimento si è preferito raddoppiare la quantità di estere anche se in questo modo si è dovuto determinare l'equazione di velocità con una espressione più complicata.

Idrolisi alcalina dell'acetato di etile (determinazione dei parametri di attivazione)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Norme di sicurezza

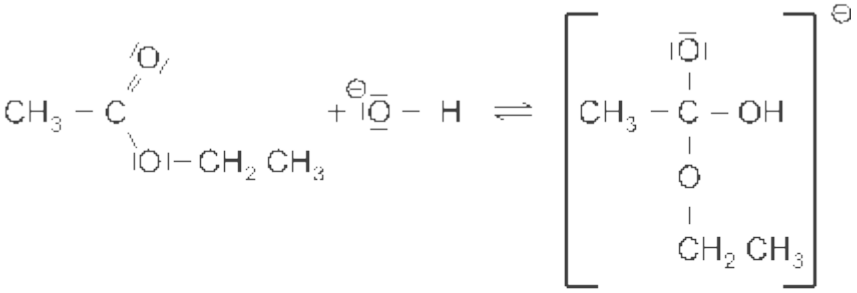
L'acetato di etile è fortemente infiammabile. Tenersi lontani dalle fiamme.

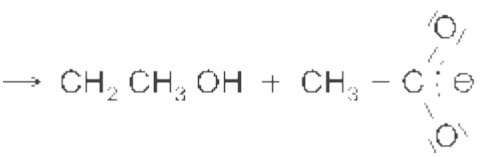
L'acetato di etile irrita gli occhi. Quando si lavora con l'acetato di etile mettere gli occhiali di protezione. Se questa sostanza si trova a contatto degli occhi, lavarli immediatamente con acqua e consultare un medico.

Il vapore dell'estere può provocare un sensibile stordimento; non respirare questo vapore.

Descrizione dell'esperimento

L'idrolisi alcalina degli esteri si sviluppa in due fasi:





Poiché durante la reazione gli ioni acetato vanno in soluzione al posto degli ioni idrossido, è possibile seguire la reazione con una misura di conducibilità. Dall'andamento nel tempo della concentrazione

degli ioni idrossido ottenuto con questa misura, si può determinare l'ordine di reazione e il coefficiente di velocità k dell'idrolisi di un estere alcalino.

Il legame tra il coefficiente di velocità e la temperatura si può determinare eseguendo più volte l'idrolisi dell'estere in bagno d'acqua a diverse temperature. Dal legame di k con la temperatura, si può calcolare l'energia di attivazione E_a secondo Arrhenius e l'energia libera di attivazione $\Delta G^{\#}$ secondo Eyring le quali sono, rispettivamente, funzione dell'entalpia di attivazione $\Delta H^{\#}$ e dell'entropia di attivazione $\Delta S^{\#}$.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di chimica o adattatore per conducibilità S	524 067(1)
1	Sensore di conducibilità	529 670
1	Agitatore magnetico con piastra di riscaldamento	666 839
1	Asta di contatto per termometro KT4	666 8401
1	Barra per agitatore, 50 mm	666 854
1	Barra per agitatore, 15 mm	666 850
1	Asta di sostegno, 500 mm, ∅ = 10 mm	301 27
3	Morsetti a croce	666 543
2	Morsetti universali piccoli	666 551
1	Morsetto universale	666 555
1	Becher, 100 ml, alto	664 137
1	Capsula di cristallizzazione, 900 ml	664 177
1	Siringa, 2 ml	665 963
1	Ago per siringa, 40 mm	665 960
1	Pipetta a bulbo, 25 ml	665 976
1	Sfera per pipetta	666 003
1	Bilancia, risoluzione 0,01 g	

Sostanze chimiche

Acetato di etile, per es. 250 ml	671 9630
Soluzione di soda caustica, c = 0,1 mol/l, per es. 500 ml	673 8410
Se necessario: soluzione di calibrazione, 12,88 mS/cm	667 4640

Calibrazione

Carica settaggi

- La costante della cella del sensore di conducibilità per il box di chimica è già predisposta su 0,58 in CASSY Lab. Se si utilizza un altro sensore di conducibilità, bisogna inserire la sua costante di cella come fattore in Settaggi CA1 sotto **Corretto**. Quindi premere il pulsante **Fattore Corretto**.
- Per determinare con maggiore precisione la costante della cella si possono usare la soluzioni di calibrazione: sciacquare il becher e il sensore di conducibilità prima con acqua distillata e poi con circa 30-40 ml di soluzione di calibrazione. Immergere il sensore di conducibilità in altri 50 ml di soluzione di calibrazione come se si dovesse fare una misura di conducibilità (controllare che sia ad una distanza di almeno 1 cm dalle pareti del becher), inserire il valore di riferimento nella seconda linea in Settaggi CA1 sotto **Corretto** e premere il pulsante **Fattore Corretto** quando i valori della misura si sono stabilizzati.
- Contrassegnare il sensore utilizzato, il box di chimica e Sensor-CASSY altrimenti la calibrazione memorizzata non è più valida.

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

Riempire fino all'orlo la capsula di cristallizzazione con acqua di rubinetto e metterla con la barra più grande nell'agitatore magnetico. Mediante il morsetto universale, fissare il becher con l'altra barra dell'agitatore all'asta di sostegno in modo tale che il becher resti sospeso nella capsula di cristallizzazione. Il becher deve essere immerso il più profondamente possibile al centro del bagno d'acqua sopra l'agitatore magnetico.

Immergere l'asta di contatto del termometro nel bagno d'acqua ed il sensore di conducibilità nel becher utilizzando per entrambi un morsetto universale piccolo. Fare attenzione che il sensore di conducibilità sia almeno ad 1 cm di distanza dalle pareti di vetro e dalla barra dell'agitatore magnetico. Fissare il regolatore di temperatura dell'agitatore magnetico in modo da raggiungere al massimo 80 °C. Fissare l'asta di contatto del termometro, che deve essere collegato all'agitatore magnetico, in modo da raggiungere una temperatura di circa 35 °C nella prima serie di misure, 45 °C nella seconda e circa 55 °C nella terza. Se si vuole, si può fare un'altra serie di misure per es. a 50 o 60 °C. Regolare la velocità dell'agitatore in modo da evitare la formazione di vortici.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica i settaggi di calibrazione
- Con la pipetta versare nel becher esattamente 75 ml di soluzione con 0,1 M di soda caustica (0,0075 mol).
- Attendere che la temperatura della soluzione di soda caustica abbia raggiunto un valore costante. Questo si può controllare sul display dello strumento di misura della temperatura ϑ_{A1} (accessibile tramite il pulsante corrispondente che si trova nel bordo superiore dello schermo) oppure, in modo più comodo, avviando una misura premendo il tasto **F9**.
- Nel frattempo, mettere la siringa vuota con l'ago sulla bilancia ed azzerare la bilancia. Mettere nella siringa esattamente 1,32 g di acetato di etile (0,015 mol).
- Una volta verificata la costanza della temperatura con una misura, bloccare questa misura con il tasto **F9** e cancellarne il valore premendo **F4**.
- Avviare la nuova misura premendo **F9** o il pulsante .
- Iniettare l'acetato di etile in modo da distribuirlo uniformemente. Premendo i tasti **Alt+V**, inserire nel diagramma una linea verticale per evidenziare l'istante di iniezione.
- In base alla temperatura a cui avviene la reazione, lasciare che essa proceda per circa 7 - 15 minuti, fino a quando la conducibilità risulta costante.
- Arrestare la misura premendo il tasto **F9** o il pulsante e memorizzare i valori acquisiti premendo il tasto **F2**, aggiungere una nota sulla temperatura della reazione.
- Una volta memorizzati i dati di una serie di misure, cancellarli con **F4** e procedere alla registrazione della serie successiva.
- Predisporre l'asta di contatto del termometro per la nuova temperatura della reazione, mettere il miscuglio con la reazione in un contenitore e sciacquare il becher.
- Ripetere l'esperimento alla temperatura successiva.
- Registrare e memorizzare le ultime tre serie di misure.

Valutazione dei risultati

1. Nel diagramma **Conducibilità Specifica**, sono riportati i valori della conducibilità specifica C_{A1} e della temperatura ϑ_{A1} in funzione del tempo di reazione.

2. Da C_{A1} si ricava la concentrazione degli ioni idrossido mediante la formula

$$\left[OH^-\right] = \frac{C_{A1} - \kappa_1}{\kappa_0 - \kappa_1} \cdot 0{,}1 \ \text{mol/l}$$

In questa formula, κ_0 è la conducibilità prima di aggiungere l'estere, κ_1 è la conducibilità al termine della reazione e 0,1 mol/l è la concentrazione della soluzione di soda caustica all'inizio della reazione. Per calcolare in modo corretto la concentrazione degli ioni idrossido, per ciascuna serie di misure, inserire i rispettivi valori ottenuti dalla misura in Settaggi κ1 e κ0 nel campo formula al posto dei valori di default. L'evoluzione della concentrazione degli ioni idrossido calcolata con l'equazione precedente, è riportata nel diagramma **Concentrazione idrossido**.

3. Con il tasto **F3** si raccolgono in un unico file tutte le serie di misure che sono già state registrate aggiungendo anche quelle in corso. Rispondere **Si** quando viene chiesto se vuole caricare una nuova serie di misure ed aggiungerla alle altre.

4. Per determinare con esattezza le temperature di reazione, cliccare sul diagramma **Conducibilità Specifica** con il pulsante destro del mouse, selezionare **Traccia Valor Medio** in modo da ottenere la temperatura media ϑ_m alla quale viene eseguita la misura marcando una delle curve della temperatura compresa tra la temperatura iniziale e quella finale. Il valore medio viene riportato automaticamente

nel diagramma e si può leggere in basso a sinistra della linea di stato. Il valore numerico si può inserire nel diagramma con i tasti **Alt+T**.

5. I coefficienti di velocità k associati alle diverse temperature si ricavano dal diagramma **2° Ordine**. Cliccare sul diagramma con il pulsante destro del mouse, selezionare **Funzione Interpolazione** e **Andamento lineare migliore**, quindi, a partire dall'inizio della reazione, marcare su ciascun diagramma il range della curva che si avvicina il più possibile ad una retta. La pendenza della retta risultante rappresenta il coefficiente di velocità k della reazione alla temperatura media ϑ_m determinata precedentemente. Questo coefficiente si trova nella linea di stato come parametro A della retta di equazione A*x+B e si può trascinare con il mouse fino al diagramma dove si può inserire con i tasti **Alt+T**.

6. Inserire i coefficienti di velocità ottenuti precedentemente e le rispettive temperature assolute T in gradi Kelvin ($T = \vartheta_m + 273{,}15$) nella tabella**Arrhenius / Eyring 1** cliccando sulla corrispondente linea della tabella con il pulsante sinistro del mouse. Nel diagramma **Arrhenius / Eyring 2**, vengono determinati automaticamente i diagrammi secondo Arrhenius ed Eyring.

7. Per determinare l'energia di attivazione E_a secondo Arrhenius, utilizzare Andamento lineare migliore per i valori sperimentali di ln k che si trovano nel diagramma **Arrhenius / Eyring 2**. La pendenza di questa retta è uguale a $-E_a/R$. Utilizzando Andamento lineare migliore per i valori sperimentali di ln (k/T) si ottiene una retta di pendenza $-\Delta H^{\#}/R$ ed ln (k_b/h) $+\Delta S^{\#}/R$ come intersezione con l'asse (vedere Informazioni teoriche). Le pendenze di queste rette si trovano come parametri A sotto la linea di stato. Le intersezioni con gli assi sono date dai parametri B. Questi parametri si possono trasferire nel diagramma.

Informazioni teoriche

Arrhenius fornisce una spiegazione riguardo all'andamento esponenziale della velocità di reazione in funzione della temperatura, già noto da tempo, identificando il parametro a ed il parametro b della formula empirica

$$k = a \cdot e^{-b/T}$$

con il fattore di frequenza A e con l'energia di attivazione E_a/R, così come avviene nella formula generale dei gas. L'energia di attivazione E_a è l'energia richiesta da due molecole in collisione per poter reagire. Il fattore A contiene il numero di collisioni al secondo delle molecole ed un fattore sterico il quale tiene conto del fatto che, per poter reagire, le molecole in collisione debbono avere un preciso orientamento reciproco.

Secondo Arrhenius, il coefficiente di velocità dipende dalla temperatura secondo questa formula:

$$k = A \cdot e^{-E_a/RT}$$

L'andamento di ln k in funzione di 1/T è una retta di pendenza $-E_a/R$ ed ln A come intersezione con l'asse.

Una forma più precisa di quella fornita dall'equazione di Arrhenius è stata individuata da Eyring nella "Teoria del cambiamento di stato"; essa fornisce una definizione più accurata dei parametri A ed E_a.

Eyring prende lo spunto dal fatto che tutte le reazioni elementari tra due sostanze A e B si sviluppano attraverso un cambiamento di stato che rimane in equilibrio chimico con le sostanze iniziali:

$$A + B \rightleftharpoons AB^{\#}$$

$$K^{\#} = \frac{[AB^{\#}]}{[A] \cdot [B]}.$$

Un decisivo contributo alla intuizione di Eyring è fornito dal fatto che attraverso gli sviluppi di una reazione chimica elementare si ottengono prodotti che hanno lo stesso coefficiente di velocità:

$$\frac{d[C]}{dt} = \frac{k_b \cdot T}{h} \cdot [AB^{\#}]$$

Dove C è il prodotto della reazione elementare, k_b è la costante di Boltzmann, h è la costante di Planck e T è la temperatura assoluta. La velocità dell'intera reazione è quindi

$$\frac{d[C]}{dt} = \frac{k_b \cdot T}{h} \cdot K^{\#} \cdot [A] \cdot [B]$$

con coefficiente di velocità:

$$k = \frac{k_b \cdot T}{h} \cdot K^{\#}$$

Dalla termodinamica si sa che un equilibrio costante K può essere determinato dalla differenza tra le entalpie libere dei prodotti e delle sostanze affini. Per cui:

$$\Delta G^{\#} = -RT \cdot \ln K^{\#}; \qquad \Delta G^{\#} = \Delta H^{\#} - T\Delta S^{\#}$$

Inserendo queste due espressioni nella formula della costante di velocità, si ottiene l'equazione di Eyring:

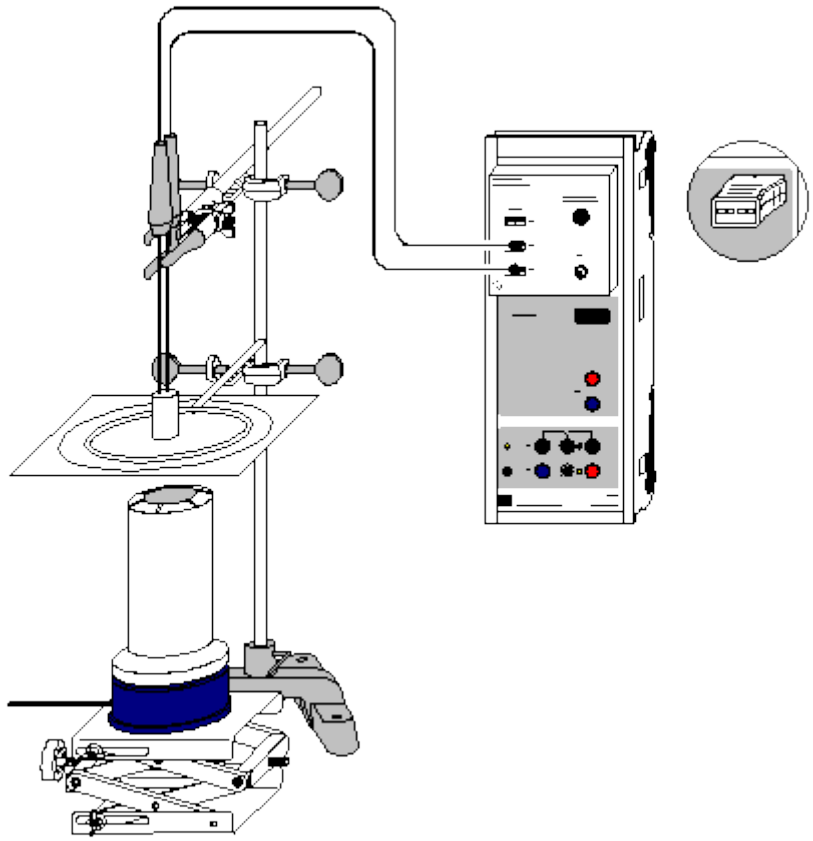
$$k = \frac{k_b \cdot T}{h} \cdot e^{\Delta S^{\#}/R} \cdot e^{-\Delta H^{\#}/RT}$$

$\Delta S^{\#}$ è chiamata attivazione di entropia e $\Delta H^{\#}$ attivazione di entalpia. Da questi due parametri si possono trarre le conclusioni riguardanti il cambiamento di stato di una reazione: una attivazione di entropia negativa porta, come nell'esempio di questo esperimento, ad un cambiamento di stato di ordine più elevato rispetto a quello dello stato iniziale; cioè, in base all'ordine che si può ottenere, i legami o le singole particelle si debbono trovare in una opportuna posizione reciproca. Se $\Delta S^{\#}$ è negativa, l'aumento di temperatura ha un effetto ritardante sulla reazione. D'altra parte, un'attivazione di entropia positiva provoca una rottura dei legami degli elementi coinvolti o un aumento del loro grado di libertà. In questo caso, un aumento di temperatura favorisce i processi che intervengono nella reazione.

La libera energia di attivazione $\Delta G^{\#}$ di una reazione, che deriva dall'attivazione di entropia e di entalpia, è sempre positiva. Essa dipende dalla temperatura ed il suo valore determina il valore del coefficiente di velocità e quindi anche la velocità della reazione. Nell'esempio di questo esperimento, i valori medi di $\Delta S^{\#}$ e $\Delta H^{\#}$ alla temperatura di 298 K (25 °C) determina una libera energia di attivazione di

$$\Delta G^{\#} = 68200\ J/mol + 50\ J/(mol \cdot K) \cdot 298\ K = 83{,}1\ kJ/mol$$

Analisi termica differenziale del solfato di rame



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Attenzione

Il solfato di rame è pericoloso per la salute e dannoso per l'ambiente. Non lasciare il solfato di rame libero nell'ambiente.

Pericolo di bruciature. Prima di toccare l'apparecchio lasciarlo raffreddare fino a temperatura ambiente.

Descrizione dell'esperimento

Da un lato, l'analisi termica differenziale (DTA) permette di misurare importanti grandezze di chimica fisica, per es. il calore latente o le entalpie di transizione. Da un altro lato, la DTA serve anche come introduzione alla chimica analitica poiché è molto semplice da capire.

Nella DTA, si riscaldano due sostanze in un forno a temperatura regolabile: si esaminano i cambiamenti di fase e/oppure le reazioni chimiche di una sostanza di riferimento chimicamente inerte (per es. ossido di alluminio, Al_2O_3) e di una sostanza campione in tutto l'intervallo di temperatura. Le due sostanze vengono messe nel forno in posizione simmetrica, ciascuna dotata di un sensore di temperatura.

Se nel campione si sviluppa un processo endotermico (per es. evaporazione) o esotermico (per es. combustione), tra la sostanza di riferimento ed il campione si manifesta una differenza di temperatura ΔT. Nel caso delle reazioni endotermiche, la sostanza campione si riscalda più lentamente della sostanza di riferimento; nel caso delle reazioni esotermiche la sua velocità di riscaldamento è maggiore. Tracciando l'andamento di ΔT in funzione della temperatura di riferimento ϑ, si ottiene la curva caratteristica DTA di ciascuna sostanza. Da questa curva si possono determinare le temperature di transizione e le entalpie di transizione che intervengono nei vari processi.

Per far capire meglio l'esperimento, in questo esempio si esegue la misura con un forno aperto il quale permette di fornire una buona spiegazione del metodo di misura. Tuttavia, per fare una misura più accurata delle entalpie di transizione, conviene utilizzare un forno chiuso.

Nell'esempio, si determina la temperatura alla quale si ha la liberazione dell'acqua di cristallizzazione legata al solfato di rame fino a 150 °C. In questo caso, la possibilità di misurare direttamente la temperatura differenziale con il box di chimica offre il vantaggio di essere più precisa di quella in cui si determina direttamente la differenza delle due singole temperature.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di chimica o adattatore NiCr-Ni S	524 067(3)
2	Sensori di temperatura NiCr-Ni, tipo K, ∅ 1,5 mm	529 676
1	Blocco di riscaldamento con due fori	666 202
1	Serie di 20 tubi di vetro	666 203
1	Bruciatore elettrico	666 776
1	Base di appoggio a V, 20 cm	300 02
1	Asta di sostegno, 47 cm	300 42
2	Morsetti a croce	666 543
1	Morsetto miniaturizzato	666 551
1	Anello di sostegno con gambo, ∅ 100 mm	666 573
1	Reticella metallica, 160*160 mm	666 685
1	Treppiede da laboratorio	666 583
2	Mortai, 50 ml	608 350
2	Pestelli	608 360
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Sostanze chimiche

Ossido di alluminio (Al_2O_3), per es. 250 g	670 2900
Solfato di rame (II) pentaidrato, per es. 100 g	672 9600

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

Collegare il box di chimica all'ingresso A di Sensor-CASSY con i sensori di temperatura collegati agli ingressi T_2 e T_3.

Eseguire il montaggio del sistema di riscaldamento con il materiale di sostegno, la reticella metallica, il bruciatore elettrico ed il treppiedi da laboratorio. Mettere il blocco di riscaldamento sopra la reticella metallica in corrispondenza dell'apertura di riscaldamento del bruciatore elettrico. All'inizio della misura, la distanza tra l'apertura di riscaldamento del bruciatore e la reticella metallica deve essere di circa 5 cm.

Riempire una punta di spatola con solfato di rame, triturarlo in uno dei due mortai, versarlo in uno dei tubi di vetro e riempirlo fino a circa due terzi di altezza. Fare la stessa cosa con un altro tubo di vetro riempiendo una punta di spatola con ossido di alluminio.

Ruotare il sensore di temperatura collegato a T_2 più in fondo possibile all'ossido di alluminio e quello collegato a T_3 nel solfato di rame.

Fissare i due sensori di temperatura tra loro con il morsetto miniaturizzato sotto l'impugnatura in modo tale che i due tubi di vetro si trovino sul fondo dei due fori del blocco di riscaldamento. Controllare che tutta la base del blocco di riscaldamento sia a contatto con la reticella metallica.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Chiudere l'interruttore del bruciatore elettrico.
- Attendere circa un minuto. Quindi avviare la misura premendo il tasto **F9** o il pulsante .

- Quando il diagramma della temperatura comincia ad essere orizzontale, aumentare opportunamente l'altezza del treppiede da laboratorio in modo da ridurre la distanza tra il bruciatore e la reticella metallica.
- Quando la temperatura raggiunge il valore di circa 150°C, arrestare la misura premendo il tasto **F9** o il pulsante . Aprire l'interruttore del bruciatore elettrico.

Valutazione dei risultati

1. Il diagramma **Standard**, mostra l'andamento della temperatura e della differenza di temperatura ΔT in funzione del tempo.

2. Il diagramma **dT(T)**, mostra l'andamento della differenza di temperatura in funzione della temperatura di riferimento (temperatura dell'ossido di alluminio).

Per determinare la temperatura di transizione, tracciare le tangenti nei punti di flesso sulla sinistra di ciascun picco. Per questa operazione, cliccare sul diagramma con il pulsante destro del mouse, selezionare **Funzione Interpolazione** e **Andamento lineare migliore** e marcare un ristretto tratto di curva attorno al punto di flesso che si trova a sinistra del picco. Fatto questo, si determina la linea base di ciascun picco. Le linee base si costruiscono come **Andamento lineare migliore**, mentre il tratto di curva da marcare è quello che si trova prima del picco corrispondente. Nell'esempio dell'esperimento, i picchi sono molto vicini fra loro per cui la prima linea base può essere usata anche per il secondo picco. La linea base del terzo picco va costruita con una linea orizzontale attraverso il minimo precedente. Comunque, gli errori risultano piccoli (± 0,3 °C).

Nell'analisi termica differenziale, il punto d'intersezione della retta tangente nel flesso di ciascun picco e la corrispondente linea base rappresenta il valore della temperatura in cui avviene il cambiamento di fase o l'inizio della reazione. Poiché la DTA è un metodo dinamico di analisi, in base alle condizioni ambientali, le temperature in questione possono differire leggermente da quelle di equilibrio termodinamico.

Per determinare il punto d'intersezione, visualizzare le coordinate con i tasti **Alt+K**, posizionare l'indice del mouse sul punto d'intersezione ed inserire nel diagramma il valore della temperatura con i tasti **Alt+T**. Inoltre, si possono marcare i cambiamenti con una lina verticale (con i tasti **Alt+V**) ed inserire un testo con la spiegazione (**Alt+T**).

Fino a 150 °C, la DTA del solfato di rame presenta tre picchi. Il primo (a circa 96 °C) è associato alla liberazione di due molecole d'acqua, il secondo corrisponde alla fase di evaporazione di queste due molecole d'acqua, il terzo alla liberazione ed evaporazione di altre due molecole d'acqua:

1. $CuSO_4 \cdot 5\,H_2O \xrightarrow{96\,^\circ C} CuSO_4 \cdot 3\,H_2O + 2\,H_2O\,(l)$

2. $2\,H_2O\,(l) \xrightarrow{103\,^\circ C} 2\,H_2O\,(g)$

3. $CuSO_4 \cdot 3\,H_2O \xrightarrow{118\,^\circ C} CuSO_4 \cdot H_2O + 2\,H_2O\,(g)$

L'ultima molecola d'acqua viene liberata a 250 °C; se si vuole registrare anche questo picco, aumenta la durata dell'esperimento.

Altri possibili esperimenti

Per ottenere una netta separazione dei picchi, si può diminuire la durata del riscaldamento o diminuire notevolmente la quantità di sostanza utilizzata. Per questioni pratiche, nell'esempio di misura proposto si è rinunciato a questa possibilità.

Pesando il solfato di rame prima e dopo ciascun picco, si può determinare la quantità d'acqua di cristallizzazione che è evaporata. Per fare questo, prima arrestare il riscaldamento a circa 100 °C, poi a circa 115 °C ed infine a 150 °C. Raffreddando la sostanza, si può determinare la differenza di massa rispetto a quella iniziale.

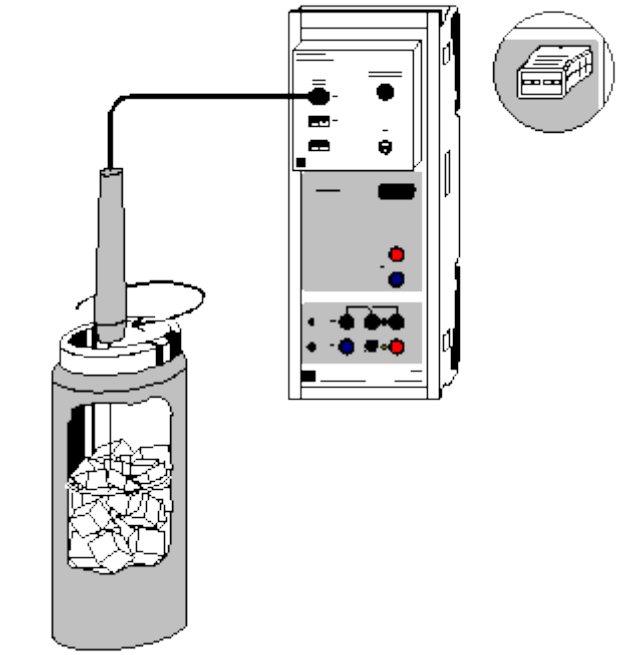
Con il sistema di montaggio descritto precedentemente, si possono eseguire molte altre misure. È possibile ad esempio:

- prendere in considerazione il cambiamento di fase del solfuro (passaggio tra la trasformazione α e β a circa 100 °C, punto di fusione a 119 °C, passaggio tra la fusione λ e μ partendo da 159 °C),

- determinare gli sbalzi di temperatura delle reazioni fortemente esotermiche (per es. accensione della polvere nera), le quali sono relativamente pericolose per la poca quantità di sostanza utilizzata,
- determinare i diagrammi di stato delle leghe (per es. stagno e piombo).

Si può regolare l'aumento di temperatura con maggiore precisione mediante un regolatore di potenza da usare assieme al bruciatore (numero di catalogo 667 823).

Preparazione di una miscela refrigerante



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Se si mescola il ghiaccio con un sale, parte del ghiaccio fonde ed il sale si scioglie nell'acqua ottenuta dal ghiaccio. L'energia necessaria per sciogliere il ghiaccio ed il sale viene prelevata dall'ambiente esterno, per cui l'intera miscela si raffredda. In base al tipo di sale utilizzato, la temperatura può scendere fino a -60 °C. Questo risultato si può ottenere anche con liquidi solubili in acqua (per es. etanolo).

La fusione del ghiaccio con aggiunta di sale è dovuta all'abbassamento del punto di congelamento della soluzione rispetto al solvente puro. Quindi l'equilibrio acqua-ghiaccio si sposta verso lo stato liquido e viene assorbito calore dall'ambiente fino al raggiungimento di un nuovo equilibrio a temperatura più bassa.

In questo esperimento si utilizza una semplice miscela refrigerante preparata mescolando in un vaso Dewar il ghiaccio con del sale comune. Anche con questa semplice miscela si possono raggiungere temperature minori di -20 °C.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di chimica o adattatore NiCr-Ni S	524 067(3)
1	Sensore di temperatura NiCr-Ni, tipo K	529 676
1	Vaso Dewar, 0,5 l	667 320
8	vetrini di orologio, ∅ = 8 cm	664 154
1	Bilancia di laboratorio	
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Sostanze richieste

Cloruro di sodio, per es. 250 g	673 5700
Ghiaccio, circa 200 g	
Acqua distillata	

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

- Inserire nell'ingresso A di Sensor-CASSY il box di chimica con il sensore di temperatura collegato a T_1.
- Pesare 10 g di cloruro di sodio su ciascun vetrino di orologio.
- Triturare il ghiaccio più finemente possibile in modo da poterlo mescolare bene con il sale.

Calibrazione

Per garantire una sufficiente precisione, calibrare il sensore di temperatura quando viene usato per la prima volta. Successivamente, la calibrazione va ripetuta di tanto in tanto.

Carica settaggi

- Immergere il sensore di temperatura in acqua ghiacciata (miscela di ghiaccio e di una piccola quantità d'acqua), mescolare con il sensore di temperatura ed attendere che il display dello strumento indichi un valore costante entro ± 0,1 °C.
- Inserire il valore di riferimento "0" nella prima linea di Settaggi ϑA11 sotto **Corretto** e premere il pulsante **Offset Corretto**.
- Memorizzare i settaggi di calibrazione sotto un nuovo nome con **F2**.
- Contrassegnare Sensor-CASSY, il box di chimica ed il sensore di temperatura in modo da poterli usare sempre insieme (altrimenti la calibrazione memorizzata non è più valida).

Esecuzione dell'esperimento

- Utilizzare o caricare i settaggi di calibrazione.
- Riempire il vaso Dewar con ghiaccio tritato ed aggiungere una piccola quantità d'acqua.
- Immergere il sensore di temperatura nel ghiaccio e mescolare.
- Registrare il primo valore della misura premendo il tasto **F9** o il pulsante , inserire "0" come primo valore nella colonna m_{NaCl} della tabella, cliccare sulla linea della tabella con il pulsante sinistro del mouse ed inserire il numero con la tastiera.

Attenersi al seguente procedimento fino ad aggiungere al ghiaccio tutto il sale:

- Mettere 10 g di sale nel vaso Dewar.
- Mescolare con il sensore di temperatura fino a quando tutta la miscela refrigerante raggiunge una temperatura uniforme (controllare sul display dello strumento ϑ_{A11}).
- Registrare i risultati della misura premendo il tasto **F9** o il pulsante .
- Inserire nell'apposita cella di m_{NaCl} della tabella il valore della massa totale di sale aggiunta fino a questo momento.

Valutazione dei risultati

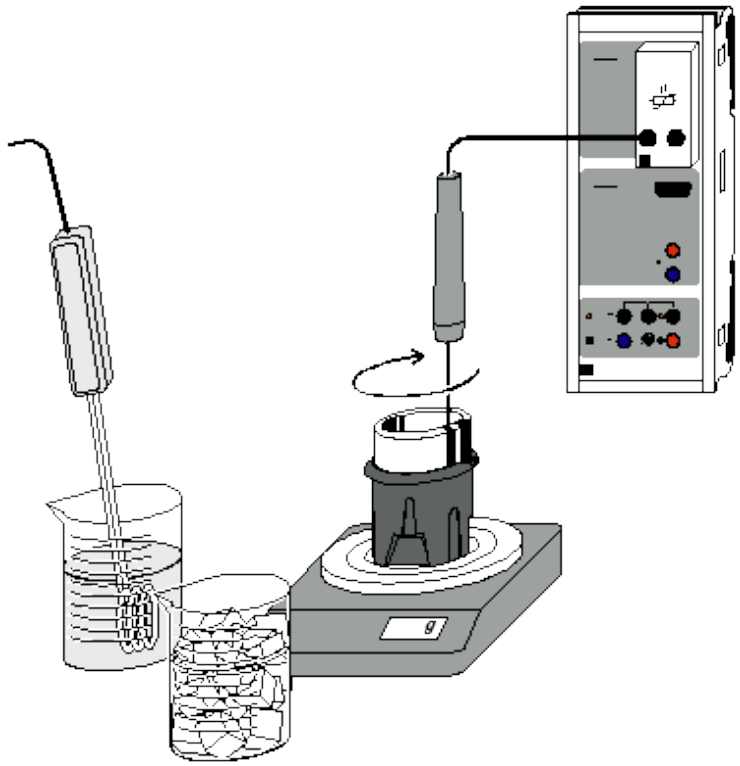
La curva ottenuta dalla misura mostra l'andamento della temperatura nella miscela refrigerante in funzione della massa di cloruro di sodio aggiunta. Risulta evidente che l'aggiunta di 10 g di NaCl al ghiaccio puro provoca un abbassamento di temperatura della miscela refrigerante maggiore di quello che si ha quando essa già contiene una più elevata quantità di sale. Dopo aver aggiunto 60 g di NaCl si raggiunge la saturazione. Una ulteriore aggiunta di sale non abbassa la temperatura della miscela poiché si è raggiunto il limite di solubilità del sale nell'acqua.

La temperatura di saturazione si può marcare in corrispondenza del minimo di temperatura con una linea orizzontale premendo **Alt+H**. Il valore della temperatura viene visualizzato nella linea di stato e si può inserire nel diagramma con il mouse o premendo **Alt+T**.

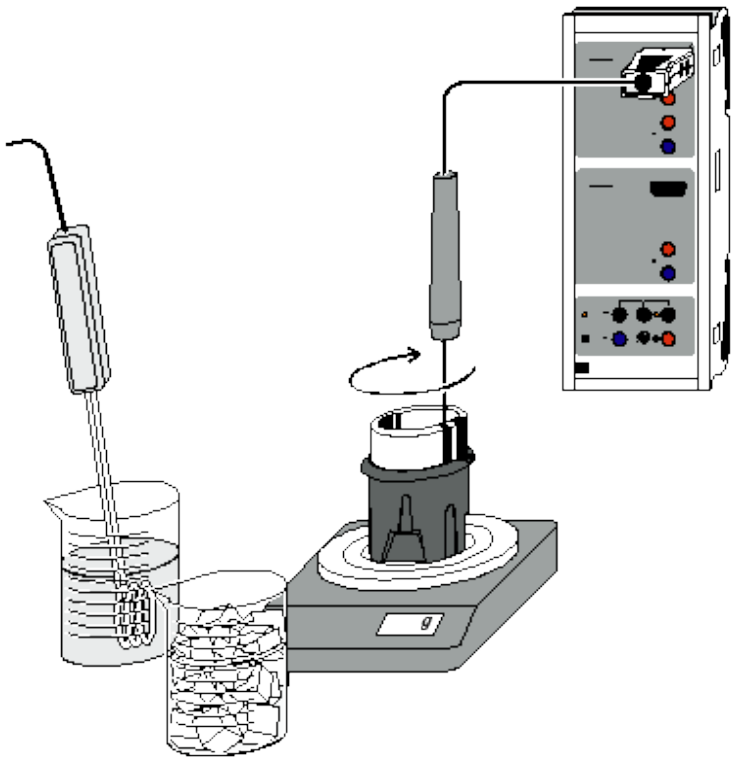
Volendo, è possibile visualizzare le temperature con un diagramma a barre; basta cliccare sul diagramma con il pulsante destro del mouse e selezionare **Seleziona Visualizzazione Valore** e **Mostra barre**.

Il diagramma ottenuto si può stampare mediante il simbolo della stampante che si trova nel bordo superiore dello schermo.

Determinazione dell'entalpia di fusione del ghiaccio



Alternativamente con il sensore di temperatura S:



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Se si mette una certa quantità di ghiaccio nell'acqua calda contenuta in un calorimetro, quando il ghiaccio si è sciolto e mescolato completamente con l'acqua, si può determinare la temperatura ϑ_m del miscuglio. La temperatura ϑ_m dipende dalla massa dell'acqua (m_1), dalla massa del ghiaccio (m_2) e dalle loro rispettive temperature ϑ_1 e ϑ_2. Per semplificare la valutazione, nella misura si utilizza il ghiaccio alla temperatura ϑ_2 = 0 °C.

Registrando velocemente i risultati della misura con CASSY Lab, si può determinare una curva della temperatura che permette di calcolare l'entalpia di fusione del ghiaccio. Con lo stesso sistema di misura si possono fare altre misure calorimetriche come ad es. esperimenti sulle mescolanze o la determinazione delle capacità termiche.

Elenco delle apparecchiature (box di temperatura)

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di temperatura	524 045
1	Sensore di temperatura NTC	666 212
1	Vaso Dewar	386 48
1	Bollitore a immersione di sicurezza	303 25
1	Becher 250 ml, basso	664 130
1	Becher 600 ml, basso	664 132
1	Bilancia, campo di misura fino a 500 g, risoluzione 0,01 g	
1	Tessuto assorbente	
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Elenco delle apparecchiature (sensore di temperatura S)

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Sensore di temperatura S	524 044
1	Vaso Dewar	386 48
1	Bollitore a immersione di sicurezza	303 25
1	Becher 250 ml, basso	664 130
1	Becher 600 ml, basso	664 132
1	Bilancia, campo di misura fino a 500 g, risoluzione 0,01 g	
1	Tessuto assorbente	
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Sostanze richieste

Ghiaccio, circa 100 g
Acqua distillata

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

Inserire il box di temperatura nell'ingresso A di Sensor-CASSY con collegato il sensore di temperatura. Alternativamente, collegare il sensore di temperatura S all'ingresso A.

Scaldare l'acqua distillata contenuta nel becher grande fino ad una temperatura di circa 80 °C. Mettere il vaso Dewar asciutto sulla bilancia e settare il suo display a 0.

Calibrazione

Calibrare il sensore di temperatura quando l'acqua è calda:

- Carica settaggi
- Tritare il ghiaccio e metterlo nell'altro becher.
- Aggiungere una piccola quantità d'acqua. Dopo poco tempo, si stabilisce l'equilibrio ghiaccio-acqua ad una temperatura di 0 °C.
- Immergere il sensore di temperatura nella miscela ghiaccio acqua e mescolare.
- Inserire il valore di riferimento "0" nella prima linea di Settaggi ϑA11 sotto **Corretto** e premere il pulsante **Offset Corretto**.

Esecuzione dell'esperimento

- Versare circa 120 g di acqua calda nel vaso Dewar.
- Eliminare l'acqua contenuta nel miscuglio ghiaccio acqua versandola fuori dal contenitore, mettere il ghiaccio sul tessuto assorbente ed asciugarlo completamente.
- Leggere sulla bilancia la massa dell'acqua calda e prenderne nota.
- Immergere il sensore di temperatura nel vaso Dewar.
- Avviare la misura premendo il tasto **F9** o il pulsante .
- Dopo 30 – 60 secondi, versare il ghiaccio dal tessuto nel vaso. Nel fare questo, mescolare continuamente con il sensore di temperatura.
- Dopo altri 30 – 60 secondi, arrestare la misura con il tasto **F9** o con il pulsante .
- Togliere il sensore di temperatura dal vaso Dewar ed asciugarlo accuratamente tenendolo sopra il vaso. Leggere sulla bilancia la massa totale e prenderne nota.

Valutazione dei risultati

Il diagramma mostra i valori della temperatura ϑ in funzione del tempo t.

1. Per determinare la temperatura del calorimetro e del miscuglio, bisogna approssimare la curva all'inizio e alla fine della misura con due rette (cliccare sul diagramma con il pulsante destro del mouse, selezionare **Funzione Interpolazione** e **Andamento lineare migliore**, e marcare il tratto di curva corrispondente).

2. Quindi, inserire una linea verticale con **Alt+V** e posizionarla in modo da formare due aree uguali (quasi triangolari) individuate dalla curva, da ciascuna retta di approssimazione e dalla linea verticale. Il punto d'intersezione della linea verticale con la retta di approssimazione superiore corrisponde alla temperatura iniziale ϑ_1 del calorimetro, mentre il punto d'intersezione inferiore corrisponde alla temperatura ϑ_m del miscuglio. Poiché le due rette che approssimano la curva sono quasi orizzontali, si commette un errore abbastanza piccolo (± 0,1 °C).

3. Per determinare con precisione le coordinate, premere **Alt+C** e posizionare l'indice del mouse nei punti d'intersezione. I valori delle coordinate compaiono in basso a sinistra della linea di stato e si possono inserire come testo nel diagramma mediante **Alt+T**.

Il calcolo dell'entalpia di fusione ΔH_f si esegue in questo modo:

I) Quantità di calore fornito dal calorimetro e dall'acqua calda:

$$\Delta Q_1 = c_w \cdot (m_1 + m_0) \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_m)$$

II) Quantità di calore trasferito dal calorimetro al ghiaccio (ϑ_2 = 0 °C):

$$\Delta Q_2 = m_2 \cdot \Delta H_f + m_2 \cdot c_w \cdot (\vartheta_m - 0)$$

dove c_w è la capacità termica dell'acqua, m_1 la massa dell'acqua calda, m_2 la massa del ghiaccio ed m_0 l'equivalente acqua del calorimetro. Poiché il calore scambiato con l'ambiente è quasi trascurabile, si ha:

$$\Delta Q_1 = \Delta Q_2 .$$

Di conseguenza, l'entalpia di fusione ΔH_f si calcola in questo modo:

$$\Delta H_f = \left(\frac{m_1 + m_0}{m_2} \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_m) - \vartheta_m \right) \cdot c_w .$$

Con l'equivalente acqua m_0 = 24 g del vaso Dewar utilizzato, dai risultati delle misure eseguite in questo esperimento, si ottiene:

$$\Delta H_f = \left(\frac{121 + 24}{75{,}6} \cdot (73{,}5 - 21{,}5\ °C) - 21{,}5\ °C \right) \cdot 4{,}19\ J/°C \cdot g = 327{,}8\ J/g$$

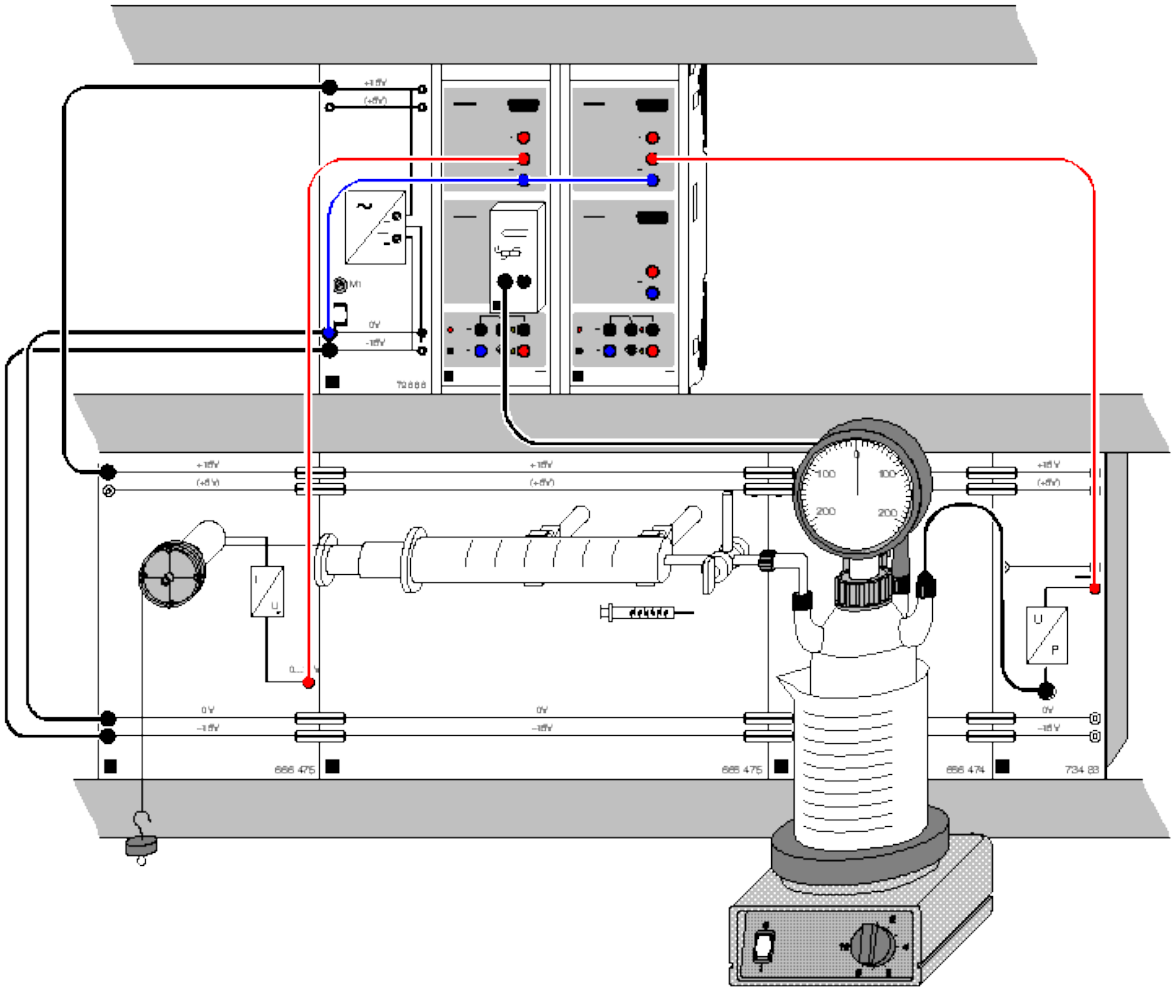
Questo risultato si avvicina molto al valore teorico 334 J/g.

Il valore di ΔH_f è abbastanza maggiore della capacità termica di 1 g d'acqua:

$$\frac{\Delta H_f}{c_w \cdot 1\,g} = \frac{334}{4{,}19} = 79{,}7$$

Questo significa che l'energia necessaria per sciogliere 1 g di ghiaccio alla temperatura di 0 °C, bisogna scaldare 1 g d'acqua da 0 °C a circa. 80 °C.

Leggi dei gas



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

In questo esperimento, si registrano contemporaneamente le seguenti grandezze: la pressione p, la temperatura T ed il volume V. Si suppone che il comportamento del gas sia ideale, per cui è valida la legge dei gas perfetti

$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$,

dove n è la quantità di gas espressa in mole ed R = 8,315 J/K/mol è la costante generale dei gas. Per verificare sperimentalmente le leggi dei gas, ogni volta si mantiene costante una delle tre grandezze (p, V e T). Si ottengono, così, le tre leggi dei gas:

Legge di Boyle e Mariotte (T = costante, isoterma): $p \propto 1/V$
Legge di Amontons (V = costante, isocora): $p \propto T$
Legge di Gay-Lussac (p = costante, isobara): $V \propto T$

Elenco delle apparecchiature

2	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di temperatura	524 045
1	Sensore di temperatura NiCr-Ni	666 216
1	Trasduttore elettronico	

	di spostamento per sistema CPS	666 475
1	Convertitore CPS-P/U	734 83
1	Unità base CPS per le leggi dei gas	666 474
1	Siringa a tenuta ermetica per le leggi dei gas	666 473
1	Alimentatore stabilizzato ±15 V	726 86
1	Agitatore magnetico con riscaldatore	666 847
1	Paletta per agitatore	666 854
1	Laborboy	300 76
1	Becher 1000 ml, basso	664 107
1	Tappo avvitabile GL 18	667 305
1	Serie di 10 guarnizioni al silicone	667 306
1	Serie di 10 spinotti a ponte	501 511
1	Telaio per pannelli C100, due livelli	666 428
3	Cavi di collegamento, 100 cm, neri	500 444
2	Coppie di cavi, 1 m, rossi e blu	501 46
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

Montare il trasduttore di spostamento, la siringa a tenuta ermetica, l'unità base per le leggi dei gas e l'alimentatore nel livello inferiore del telaio per pannelli; collegare fra loro i vari pannelli con gli spinotti a ponte. Fissare la siringa, la termocoppia ed il sensore di pressione all'unità base con i connettori avvitabili GL 18. Sigillare il connettore GL 45 con il tappo avvitabile. Agganciare il peso alla siringa con un filo. Spingere lo stantuffo a fine corsa ed avvolgere il filo due volte attorno alla puleggia del trasduttore di spostamento. Quando lo stantuffo è giunto a fine corsa, il peso deve trovarsi a 30 – 40 cm dal piano del tavolo; eventualmente, accorciare il filo.

Montare le due unità Sensor-CASSY nel livello superiore del telaio per pannelli e disporle in cascata (collegandole fra loro). Le uscite analogiche di Sensor-CASSY vanno collegate in questo modo:

- Collegare con un cavetto l'ingresso A_1 alla tensione d'uscita del trasduttore di spostamento CPS.
- Collegare l'uscita B_1 al sensore di temperatura NiCr-Ni mediante il box temperatura.
- Collegare con un cavetto l'uscita A_2 alla tensione d'uscita del convertitore CPS-P/U.

Esecuzione dell'esperimento

a) Legge di Boyle e Mariotte (T = costante, $p \propto 1/V$)

- Carica settaggi
- Aprire il rubinetto a tre vie
- Estrarre lo stantuffo della siringa fino alla tacca 100 ml e ruotare la puleggia verso sinistra fino all'arresto.
- Verificare che il volume sia V = 725 ml, eventualmente regolare la vite del trasduttore di spostamento CPS.
- Chiudere il rubinetto in modo da lasciare aperto soltanto il collegamento tra la siringa e la bottiglia ed in modo da non fare entrare aria nel sistema.
- Registrare il primo valore della misura con **F9**.
- Variare con cura la pressione spostando lo stantuffo di 10 ml alla volta ed attendere che la temperatura torni di nuovo al valore precedente (temperatura ambiente).
- Registrare con **F9** i valori misurati.

b) Legge di Amontons (V = costante, $p \propto T$)

- Carica settaggi
- Aprire il rubinetto a tre vie per svuotare la bottiglia di Woulff.
- Chiudere il rubinetto in modo che non ci siano collegamenti con la bottiglia.
- Mettere in funzione l'agitatore magnetico ed il piano di riscaldamento.
- Avviare automaticamente la misura con **F9**.
- Disattivare il piano di riscaldamento prima che l'acqua nel becher cominci a bollire ed arrestare la misura con **F9**.

c) Legge di Gay-Lussac (p = costante, $V \propto T$)

- Carica settaggi

- Mettere in funzione l'agitatore magnetico ed il piano di riscaldamento.
- Disattivare il piano di riscaldamento prima che l'acqua nel becher cominci a bollire.
- Aprire il rubinetto a tre vie.
- Estrarre lo stantuffo della siringa fino alla tacca 100 ml e ruotare la puleggia verso sinistra fino all'arresto.
- Verificare che il volume sia V = 725 ml, eventualmente regolare la vite del trasduttore di spostamento CPS.
- Chiudere il rubinetto in modo da lasciare aperto soltanto il collegamento tra la siringa e la bottiglia ed in modo da non fare entrare aria nel sistema.
- Registrare il primo valore della misura con **F9**.
- Variare con cura la pressione spostando lo stantuffo di 5 ml alla volta ed attendere che la pressione torni di nuovo al valore precedente (pressione ambiente).
- Registrare con **F9** i valori misurati.
- Arrestare la misura appena la temperatura raggiunge il valore della temperatura ambiente.

Valutazione dei risultati

Per valutare i tre punti precedenti, si utilizzano i seguenti diagrammi:

a) Esperimento a temperatura costante (T = costante): diagramma p(V)
b) Esperimento a volume costante (V = costante): diagramma p(T)
c) Esperimento a pressione costante (p = costante): diagramma T(V)

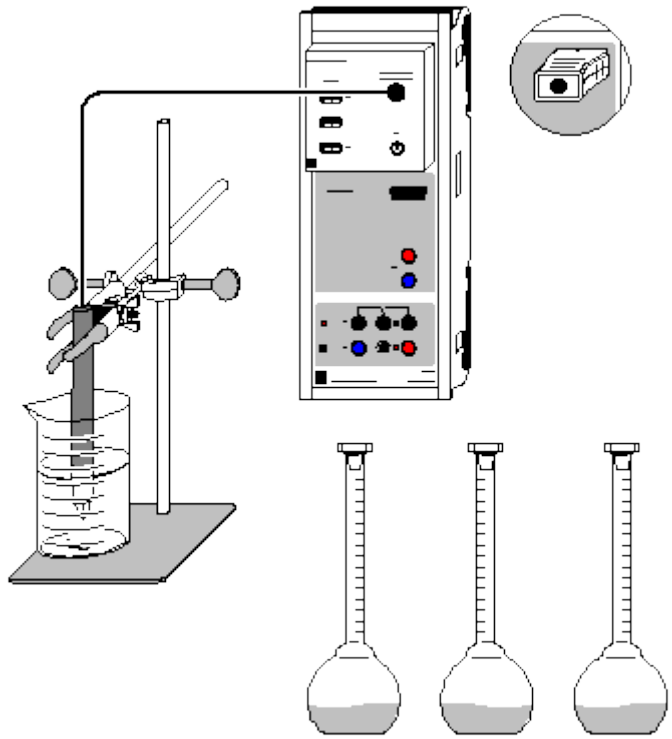
Visualizzando **Regressione** (cliccare sulla tabella) i tre diagrammi appaiono già in scala ed in modo che sia visibile l'origine degli assi; per l'interpolazione si utilizzano le seguenti funzioni:

a) Esperimento a temperatura costante ($p \propto 1/V$): iperbole 1/x
b) Esperimento a volume costante ($p \propto T$): andamento lineare o retta passante per l'origine
c) Esperimento a pressione costante ($T \propto V$): andamento lineare o retta passante per l'origine

Nota

Le scale dei diagrammi visualizzati in **Regressione** cominciano dall'origine degli assi e coprono un ampio intervallo. In questo modo, l'analisi e l'interpretazione dei tratti di curva più significativi diventa molto più semplice.

Determinazione della conducibilità di soluzioni differenti



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

La conducibilità elettrica delle soluzioni acquose dipende da diversi parametri:

a) la concentrazione della soluzione, b) il grado di dissociazione della sostanza, c) la mobilità degli ioni, e d) la carica degli ioni.

Dal confronto delle misure di conducibilità eseguite con soluzioni differenti, si possono trarre conclusioni relative a questi parametri.

I valori ottenuti dalle misure sono visualizzati da CASSY-Lab su diagrammi chiari e di facile lettura.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di chimica o adattatore per conducibilità S	524 067(1)
1	Sensore di conducibilità	529 670
1	Bruciatore Bunsen con appoggio, 450 mm	666 502
1	Morsetto a croce	666 543
1	Morsetto miniaturizzato	666 551
1	Becher, 100 ml, alto	664 137
15	Beute volumetriche, 100 ml	665 793
1	Pipetta a bulbo, 50 ml	665 977
1	Pipetta a bulbo, 10 ml	665 975
2	Sfere per pipetta	666 003
1	Spatola	666 962
1	Vetrino di orologio, per es. 80 mm	664 154
1	Imbuto polverizzatore, per es. 60 mm	602 681

1 Bilancia (almeno fino a 100 g, risoluzione 0,01 g)
1 PC con Windows 98/2000/XP/Vista

Sostanze chimiche

D(+)-glucosio, per es. 100 g	672 1100
Acido acetico, c = 1 mol/l, per es. 1000 ml	671 9590
Solfato di magnesio 7 volte idrato, per es. 100 g	673 1600
Cloruro di sodio, per es. 250 g	673 5700
Acido cloridrico, c = 1 mol/l, 500 ml	674 6900
Acqua distillata	
Se necessario:	
Soluzione di calibrazione, 111,8 mS/cm	667 4644
Soluzione di calibrazione, 12,88 mS/cm	667 4640

Preparazione delle soluzioni

Per preparare le soluzioni, sono necessari la bilancia, le pipette, le beute volumetriche, la spatola il vetrino di orologio e l'imbuto. Per ciascuna sostanza, vanno preparate tre soluzioni di concentrazione diversa. Naturalmente, oltre a quelle proposte, si possono utilizzare soluzioni con concentrazione diversa oppure si possono omettere alcune misure.

1) Soluzioni di glucosio (1 mol/l, 0,5 mol/l, 0,1 mol/l)
Pesare in successione con il vetrino di orologio posato sulla bilancia esattamente 19,82 g (1 mol/l), 9,91 g (0,5 mol/l) e 1,98 g (0,1 mol/l) di glucosio e versare con l'imbuto acqua distillata nella beuta da 100 ml. Quindi sciacquare il vetrino di orologio, la spatola e l'imbuto.

2) Soluzioni acido acetico (0,5 mol/l, 0,1 mol/l, 0,01 mol/l)
Con la pipetta, mettere 50 ml (0,5 mol/l) e 10 ml (0,1 mol/l) di di soluzione 1 M di acido acetico nella beuta volumetrica di 100 ml e riempirla con acqua distillata fino al segno di calibrazione. Preparare in un'altra beuta la soluzione 0,01 M di acido acetico con 10 ml di soluzione 0,1 M.

3) Soluzioni di solfato di magnesio (0,5 mol/l, 0,1 mol/l. 0,01 mol/l)
Pesare in successione con il vetrino di orologio posato sulla bilancia esattamente 12,32 g (0,5 mol/l) e 2,46 g (0,1 mol/l) di solfato di magnesio e versare con l'imbuto acqua distillata nella beuta da 100 ml. Con la pipetta ben pulita, preparare in un'altra beuta la soluzione 0,01 M con 10 ml di soluzione di solfato di magnesio 0,1 M. Quindi sciacquare il vetrino di orologio, la spatola, l'imbuto e la pipetta.

4) Soluzioni di NaCl (0,5 mol/l, 0,1 mol/l, 0,01 mol/l)
Pesare con il vetrino di orologio posato sulla bilancia esattamente 2,92 g (0,5 mol/l) di cloruro di sodio e versare con l'imbuto acqua distillata nella beuta da 100 ml. Con la pipetta, preparare in un'altra beuta la soluzione 0,1 M con 20 ml di soluzione 0,5 M e la soluzione 0,01 M con 10 ml di soluzione 0,1 M.

5) Soluzione di acido cloridrico (0,5 mol/l, 0,1 mol/l, 0,01 mol/l)
Con le pipette ben pulite, mettere 50 ml (0,5 mol/l) e 10 ml (0,1 mol/l) di soluzione 1 M di acido cloridrico nella beuta volumetrica da 100 ml e riempirla con acqua distillata fino al segno di calibrazione. Preparare in un'alta beuta una soluzione 0,01 M di acido acetico con 10 ml di soluzione 0,1 M.

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

Inserire il box di chimica nell'ingresso A di Sensor-CASSY con collegato il sensore di conducibilità. Dopo aver sciacquato accuratamente il sensore di conducibilità con acqua distillata, fissarlo al morsetto in modo da poterlo regolare in altezza con il morsetto a croce secondo le necessità.

Calibrazione

- Carica settaggi

La costante di cella del sensore di conducibilità per il box di chimica è già predisposto in CASSY Lab sul valore 0,58. Se si utilizza un sensore diverso, bisogna inserire come fattore la sua costante di cella in Settaggi Conducibilità CA1 sotto **Corretto**. e premere il pulsante **Fattore Corretto**.

Per determinare con maggiore precisione la costante della cella, si possono usare le soluzioni di calibrazione: sciacquare il becher e il sensore di conducibilità prima con acqua distillata e poi con circa 30-40 ml di soluzione di calibrazione. Immergere il sensore di conducibilità in altri 50 ml di soluzione di calibrazione come se si dovesse fare una misura di conducibilità (fare attenzione alla distanza dalle

pareti del becher), inserire il valore di riferimento nella seconda linea di Settaggi CA1 sotto **Corretto**; quindi, ottenuto un valore stabile della misura, premere il pulsante **Fattore Corretto**.

Esecuzione dell'esperimento

Carica i settaggi di calibrazione

Misurare in successione la conducibilità dell'acqua distillata e delle soluzioni di glucosio, acido acetico, solfato di magnesio, cloruro di sodio ed acido cloridrico cominciando con la soluzione a concentrazione più bassa e procedendo nel seguente ordine:

- Sciacquare accuratamente l'elettrodo e il becher con 30-40 ml di soluzione.
- Versare altri 60 ml di soluzione nel becher.
- Regolare l'altezza del sensore di conducibilità in modo da immergerlo nel liquido ad una profondità di 2 cm e ad una distanza di almeno 1 cm dalle pareti.
- Se necessario cambiare il range della misura in Settaggi Conducibilità CA1. Selezionare sempre il campo di misura più basso possibile.
- Quando il valore visualizzato risulta stabile, registrare i dati premendo il tasto **F9** o il pulsante .
- Inserire nel diagramma il valore della concentrazione di ciascuna sostanza con associato il risultato della misura. Questo si ottiene premendo i tasti **Alt+T**; con il mouse si può inserire nel punto desiderato del diagramma il testo che specifica il tipo di sostanza e il valore della concentrazione.
- Per semplificare la valutazione, prima di misurare la conducibilità di una nuova sostanza, selezionare **Aggiungi Nuova Serie di Misure** in Parametri di Misura.
- Prima di misurare la conducibilità di una nuova sostanza, sciacquare accuratamente il becher ed il sensore di conducibilità con acqua distillata.

Valutazione dei risultati

Selezionando la rappresentazione grande del display dello strumento, i risultati della misura possono essere letti da più persone distanti dallo schermo. I valori vengono inseriti automaticamente nel diagramma a barre, per cui sono visualizzate chiaramente le differenze tra la varie conducibilità.

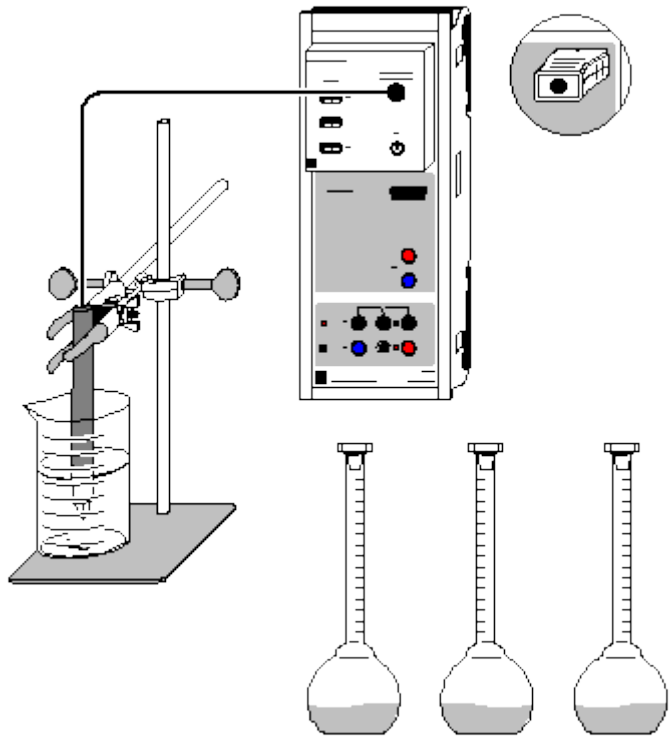
Il diagramma **Conducibilità Specifica** serve proprio a questo scopo. Gli altri diagrammi permettono di confrontare direttamente due particolari sostanze. Per ottenere una chiara separazione tra le diverse sostanze, si possono inserire nel diagramma delle linee verticali tra le varie serie di misure.

Questo esperimento mostra chiaramente che la conducibilità dipende molto dalla concentrazione. Dai risultati delle misure si può vedere, inoltre, che gli elettroliti forti con un elevato grado di dissociazione hanno una conducibilità maggiore di quella delle sostanze che non sono dissociate o si dissociano solo in minima parte. Poiché la conducibilità dell'acido cloridrico è maggiore di quella delle soluzioni di sale comune, si può concludere che la mobilità degli ioni idrogeno è maggiore di quella degli ioni sodio.

Nonostante la maggiore carica dello ione, la conducibilità delle soluzioni molto concentrate di solfato di magnesio è minore di quella delle soluzioni di NaCl poiché tale carica esercita tra gli ioni una elevata forza elettrostatica; infatti, essa è due volte maggiore della carica degli ioni sodio e degli ioni cloro. Tuttavia, a concentrazioni più basse (maggiore distanza fra gli ioni), per es. 0,01 mol/l, la conducibilità risulta maggiore di quella di NaCl.

Il diagramma ottenuto si può stampare mediante il simbolo della stampante che si trova nel bordo superiore dello schermo.

Determinazione della conducibilità equivalente limite del cloruro di sodio



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Le misure di conducibilità dello stesso elettrolito a differenti concentrazioni permettono di determinare molte importanti caratteristiche della sostanza. In questo esperimento, si usa la misura della conducibilità specifica C_{A1} del cloruro di sodio per calcolare la conducibilità equivalente Λ_{eq}, definita come rapporto tra la conducibilità specifica e la concentrazione equivalente:

$$\Lambda_{eq} = \frac{C_{A1}}{c_0 \cdot n}.$$

Dove co è la concentrazione della soluzione ed n il numero di coppie di cariche positive e negative libere. Nel caso di NaCl, si ha n = 1 poiché NaCl si dissocia in questo modo:

$$NaCl \xrightarrow{H_2O} Na^+ + Cl^-.$$

Poiché gli ioni disciolti sono soggetti ad una reciproca interazione elettrostatica, la conducibilità equivalente dipende dalla concentrazione. Solo con diluizione infinita le interazioni sono uguali a zero perché la distanza fra gli ioni è molto grande. Quindi, la conducibilità equivalente a diluizione infinita Λ_0 (conducibilità equivalente limite) rappresenta la conducibilità equivalente della sostanza completamente dissociata, cioè senza interazioni fra gli ioni. Il valore di Λ_0 si può determinare graficamente in base alla legge della radice quadrata di Kohlrausch

$$\Lambda_{eq} = \Lambda_0 - K\sqrt{c_0}.$$

Il rapporto tra la conducibilità equivalente e conducibilità equivalente limite Λ_{eq}/Λ_0 rappresenta il grado di dissociazione α del cloruro di sodio. Nelle soluzioni a bassa concentrazione di elettroliti forti come NaCl, α è quasi 1.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di chimica o adattatore per conducibilità S	524 067(1)
1	Sensore di conducibilità	529 670
1	Bruciatore Bunsen con appoggio, 450 mm	666 502
1	Morsetto a croce	666 543
1	Morsetto miniaturizzato	666 551
1	Becher 100 ml, alto	664 137
1	Beuta volumetrica, 250 ml	665 794
6	Beute volumetriche, 100 ml	665 793
1	Pipetta a bulbo, 10 ml	665 975
1	Pipetta a bulbo, 25 ml	665 976
2	Sfere per pipetta	666 003
1	Spatola	666 962
1	Vetrino da orologio, per es. 80 mm	664 154
1	Imbuto polverizzatore, per es. 60 mm	602 681
1	Bilancia (almeno fino a 100 g, risoluzione 0,01 g)	
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Sostanze chimiche

Cloruro di sodio, per es. 250 g	673 5700
Acqua distillata	
Se necessario:	
Soluzione di calibrazione, 111,8 mS/cm	667 4644
Soluzione di calibrazione, 12,88 mS/cm	667 4640

Preparazione delle soluzioni (vedere figura)

Per preparare le soluzioni, sono necessari la bilancia, le pipette, le beute volumetriche, la spatola, il vetrino di orologio e l'imbuto.

Pesare con il vetrino di orologio posato sulla bilancia esattamente 29,22 g (0,5 mol/l) di cloruro di sodio e versare il sale con l'imbuto nella beuta da 250 ml assieme ad acqua distillata. Sciolto completamente il sale e riempita la beuta fino al segno di calibrazione, usare la soluzione 2 M di NaCl per preparare altre soluzioni. Per 100 ml di ogni soluzione sono necessari:

per 1 mol/l: 50 ml
per 0,8 mol/l: 40 ml
per 0,5 mol/l: 25 ml
per 0,2 mol/l: 10 ml
per 0,1 mol/l: di soluzione con c = 1 mol/l: 10 ml
per 0,01 mol/l: di soluzione con c = 0,1 mol/l: 10 ml

Se si vuole analizzare la conducibilità specifica di NaCl in tutto il range di concentrazioni, si consiglia di preparare alcune soluzioni addizionali con concentrazione maggiore, per es. 1,5 mol/l, 3 mol/l, 4 mol/l, 5 mol/l, e 6 mol/l.

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

Inserire il box di chimica nell'ingresso A di Sensor-CASSY con collegato il sensore di conducibilità. Dopo aver sciacquato accuratamente il sensore di conducibilità con acqua distillata, fissarlo al morsetto in modo da poterlo regolare in altezza con il morsetto a croce secondo le necessità.

Calibrazione

- Carica settaggi

La costante di cella del sensore di conducibilità per il box di chimica è già predisposto in CASSY Lab sul valore 0,58. Se si utilizza un sensore diverso, bisogna inserire come fattore la sua costante di cella in Settaggi Conducibilità CA1 sotto **Corretto**. Quindi, premere il pulsante **Fattore Corretto**.

Per determinare con maggiore precisione la costante di cella, si possono usare le soluzioni di calibrazione: sciacquare il becher e il sensore di conducibilità prima con acqua distillata e poi con circa 30-40 ml di soluzione di calibrazione. Immergere il sensore di conducibilità in altri 50 ml di soluzione di calibrazione come se si dovesse fare una misura di conducibilità (fare attenzione alla distanza dalle pareti del becher), inserire il valore di riferimento nella seconda linea di Settaggi CA1 sotto **Corretto**; quindi, ottenuto un valore stabile della misura, premere il pulsante **Fattore Corretto**.

Nel caso in cui si vuole eseguire la misura sulle soluzioni di NaCl con elevata concentrazione aventi una conducibilità specifica superiore a 100 mS/cm, è necessario apportare qualche correzione con le soluzioni di calibrazione anche per il sensore di conducibilità usato in questo esperimento. La necessità si presenta con concentrazioni superiori a 1,5 mol/l.

Esecuzione dell'esperimento

Carica i settaggi di calibrazione

Iniziare con le soluzioni di concentrazione più bassa (0,01 mol/l) e giungere alla soluzione 2 M procedendo in questo ordine:

- Sciacquare accuratamente l'elettrodo e il becher con 30-40 ml di soluzione.
- Gettare via questa parte di soluzione.
- Versare nel becher la soluzione rimanente (circa 60 ml).
- Regolare l'altezza del sensore di conducibilità in modo da immergerlo nel liquido ad una profondità di 2 cm e ad una distanza di almeno 1 cm dalle pareti.
- Se necessario cambiare il range della misura in Settaggi Conducibilità CA1. Selezionare sempre il campo di misura più basso possibile.
- Quando si ottiene un valore stabile, registrare i dati premendo il tasto **F9** o il pulsante .
- Inserire nella tabella il valore della concentrazione con associato il risultato della misura. Questo si ottiene cliccando con il pulsante sinistro del mouse sulla corrispondente riga della tabella ed inserendo con la tastiera il valore della concentrazione.
- Gettare via la soluzione.

Valutazione dei risultati

I valori ottenuti per C_{A1} forniscono la conducibilità specifica della soluzione. Questa non è una grandezza specifica della sostanza, ma dipende dalla concentrazione e dalla temperatura. La compensazione della temperatura del sensore predisposta in CASSY-Lab determina automaticamente i dati rispetto alla temperatura standard di 25 °C.

Per la valutazione dei risultati, in CASSY-Lab sono disponibili 4 diagrammi:

1. Il primo diagramma fornisce la **conducibilità specifica** C_{A1} in funzione della concentrazione c_0.

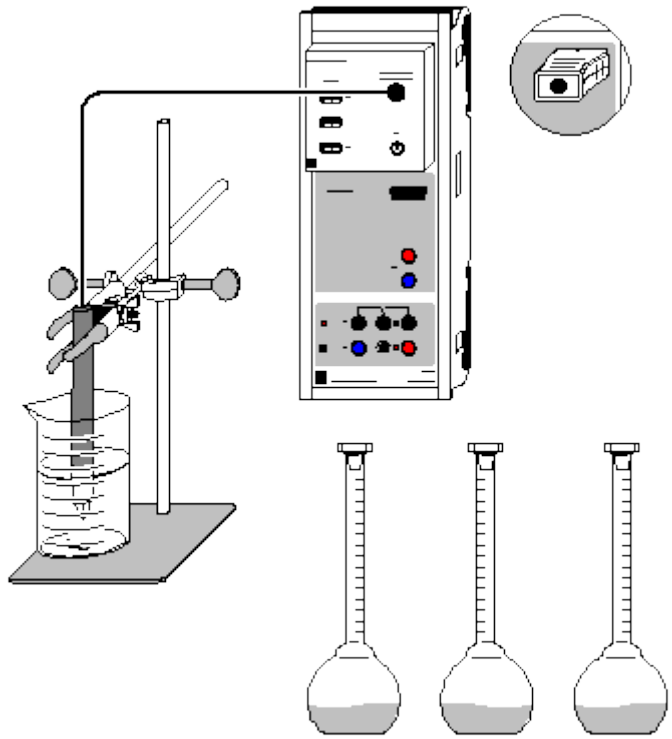
2. Il secondo diagramma mostra il legame tra la concentrazione e **la conducibilità equivalente** Λ_{eq}.

3. Tenuta presente la legge della radice quadrata di Kohlrausch, alle basse concentrazioni, l'andamento della conducibilità equivalente rispetto alla radice quadrata della concentrazione molare è approssimativamente una retta la cui intersezione coincide con la conducibilità equivalente limite. Questo comportamento si può vedere nel diagramma **Andamento di Kohlrausch**. La pendenza k dipende dal numero di ioni che si formano nella dissociazione (ad es. questa pendenza è minore nel caso di NaCl che nel caso di H_2SO_4).

Per interpolare i risultati della misura con una retta, cliccare sul diagramma con il pulsante destro del mouse, selezionare **Funzione Interpolazione** e Andamento lineare migliore. Successivamente marcando il tratto di curva tra 0 e 0,5 mol/l si ottiene una retta la cui pendenza A e la cui intersezione con l'asse B si trovano in basso a sinistra della linea di stato. Questi valori si possono trascinare sul diagramma con il mouse o inserire come testo mediante **Alt+T**. Il parametro A corrisponde a -k nella legge di Kohlrausch e B è il valore della conducibilità equivalente limite Λ_0. Per calcolare α, inserire questi valori in Settaggi $\Lambda 0$ nel campo Formula.

4. Infine, il diagramma **Grado di dissociazione** mostra i valori di α ottenuti dal calcolo. Si può vedere chiaramente che anche nel caso degli elettroliti forti con concentrazioni molto basse il grado di dissociazione è solo approssimativamente uguale ad 1. Questo comportamento diverso da quello ideale di un elettrolito forte si può spiegare attraverso un processo di interazione tra gli ioni (associazione ionica dovuta alle forze di Coulomb, impedimento alla migrazione degli ioni nella soluzione).

Determinazione della costante di dissociazione dell'acido acetico



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Attenzione

Gli acidi molto concentrati sono corrosivi. Indossare occhiali di protezione, guanti e camice. Non respirare i vapori dell'acido concentrato.

L'acido concentrato è infiammabile. Evitare fiamme libere e non fumare.

Descrizione dell'esperimento

Si vuole misurare la conducibilità specifica dell'acido acetico in diverse concentrazioni. Dai dati acquisiti, si ricava la conducibilità equivalente Λ_{eq}. I risultati ottenuti dimostrano che la legge della radice quadrata di Kohlrausch per la determinazione della conducibilità equivalente limite non si può applicare agli elettroliti deboli. Mediante il valore della conducibilità equivalente limite ed applicando la legge di diluizione di Ostwald, si può calcolare il grado di dissociazione α e la costante di equilibrio K_{Diss} per l'equilibrio della dissociazione dell'acido acetico.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box di chimica o adattatore per conducibilità S	524 067(1)
1	Sensore di conducibilità	529 670
1	Bruciatore Bunsen con appoggio, 450 mm	666 502
1	Morsetto a croce	666 543
1	Morsetto miniaturizzato	666 551
1	Becher 100 ml, alto	664 137
9	Beute volumetriche, 100 ml	665 793
1	Pipetta a bulbo, 10 ml	665 975
1	Pipetta a bulbo, 50 ml	665 977

2	Sfere per pipetta	666 003
1	Contenitore, capacità di circa 1,5 l	
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Sostanze chimiche

Acido acetico, 99-100 % (ca. 17,5 mol/l), 500 ml	671 9510
Acido acetico, c = 1 mol/l, 1000 ml	671 9590
Acqua distillata	

Preparazione delle soluzioni

Per preparare le soluzioni di acido acetico sono necessarie le pipette e le beute volumetriche.

Quantità di acido acetico puro necessario per 100 ml di soluzione:

- per HAc 50 % (8,75 mol/l): 50 ml
- per HAc 20 % (3,5 mol/l) e 10 % (1,75 mol/l): rispettivamente 20 ml e 10 ml

Per preparare altre soluzioni, usare una soluzione 1 M di acido acetico:

- per HAc, c = 0,5 mol/l: 50 ml
- per HAc, c = 0,1 mol/l: 10 ml

Versare acqua distillata nelle beute volumetriche contenenti la quantità di acido acetico indicata precedentemente e riempirle fino al segno di calibrazione. Utilizzare queste soluzioni di acido acetico per preparare altre soluzioni. A questo scopo, versare 10 ml di soluzione di HAc avente una concentrazione dieci volte maggiore di quella della soluzione che si vuole preparare ed aggiungere acqua distillata nella beuta fino al segno di calibrazione. In questo modo si ottengono le seguenti concentrazioni:

c = 0,05 mol/l, c = 0,01 mol/l, c = 0,005 mol/l, c = 0,001 mol/l

In questo modo si hanno a disposizione undici soluzioni diverse di acido acetico con le quali misurare la conducibilità al variare della concentrazione. Se si vuole eseguire un'analisi più dettagliata in tutto il campo della conducibilità specifica, si consiglia di preparare alcune soluzioni addizionali con concentrazione maggiore (per es. 30 %, 40 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 %).

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

Inserire il box di chimica nell'ingresso A di Sensor-CASSY con collegato il sensore di conducibilità. Dopo aver sciacquato accuratamente il sensore di conducibilità con acqua distillata, fissarlo al morsetto in modo da poterlo regolare in altezza lungo il sostegno allentando e stringendo la vite del morsetto a croce.

Calibrazione

Carica settaggi

La costante di cella del sensore di conducibilità per il box di chimica è già predisposto in CASSY Lab sul valore 0,58. Se si utilizza un sensore diverso, bisogna inserire come fattore la sua costante di cella in Settaggi Conducibilità CA1 sotto **Corretto**. Quindi, premere il pulsante **Fattore Corretto**.

Per determinare con maggiore precisione la costante della cella, si possono usare le soluzioni di calibrazione: sciacquare il becher e il sensore di conducibilità prima con acqua distillata e poi con circa 30-40 ml di soluzione di calibrazione. Immergere il sensore di conducibilità in altri 50 ml di soluzione di calibrazione come se si dovesse fare una misura di conducibilità (fare attenzione alla distanza dalle pareti del becher), inserire il valore di riferimento nella seconda linea di Settaggi CA1 sotto **Corretto**; quindi, ottenuto un valore stabile della misura, premere il pulsante **Fattore Corretto**.

Esecuzione dell'esperimento

Carica i settaggi di calibrazione

Iniziare con le soluzioni di acido acetico a concentrazione più bassa (0,01 mol/l) e giungere a quelle più concentrate procedendo in questo ordine:

- Sciacquare accuratamente l'elettrodo e il becher da 100 ml con 30-40 ml di soluzione.
- Gettare questa porzione di soluzione nel contenitore.
- Versare nel becher da 100 ml la soluzione rimanente (circa 60 ml).

- Fissare il sensore di conducibilità al sostegno in modo da immergerlo nel liquido ad una profondità di 2 cm e ad una distanza di almeno 1 cm dalle pareti.
- Quando si ottiene un valore stabile, registrare i dati premendo il tasto **F9** o il pulsante .
- Inserire nella tabella il valore della concentrazione con associato il risultato della misura. Questo si ottiene cliccando con il pulsante sinistro del mouse sulla casella corrispondente ed inserendo con la tastiera il valore della concentrazione.
- Gettare la soluzione nel contenitore.

Valutazione dei risultati

I valori ottenuti per C_{A1} forniscono la conducibilità specifica della soluzione corrispondente. Questa non è una grandezza specifica della sostanza, ma dipende dalla concentrazione e dalla temperatura. La compensazione della temperatura del sensore programmata in CASSY-Lab determina automaticamente i dati rispetto alla temperatura standard di 25 °C.

Per la valutazione dei risultati, in CASSY-Lab sono disponibili diversi diagrammi:

1+2) I primi due diagrammi forniscono, rispettivamente, l'andamento della conducibilità specifica C_{A1} in funzione della concentrazione molare e la percentuale di volume dell'acido acetico.

3) Il terzo diagramma mostra l'andamento della **conducibilità equivalente** Λ_{eq} in funzione della concentrazione.

4) Se l'acido acetico fosse un elettrolito forte, l'andamento della conducibilità equivalente in funzione della radice quadrata della concentrazione molare sarebbe di tipo lineare (vedere la legge della radice quadrata di Kohlrausch). Il diagramma di **Kohlrausch** mostra la grande diversità rispetto a questa legge.

5) Il diagramma **Dissociazione** mostra l'andamento dei valori negativi del logaritmo decimale della costante di dissociazione pK_{Diss} e del grado di dissociazione α calcolati in base ai risultati delle misure. Con valori elevati della concentrazione, la costante K_{Diss} diminuisce poiché in queste condizioni la concentrazione dell'acqua non si può considerare costante; un ulteriore motivo è dato dalla formazione di un agglomerato di ioni il cui effetto si fa sentire quando la distanza fra gli ioni diventa piccola.

6) Nel diagramma di **Ostwald** si può verificare la corrispondenza tra i risultati della misura e i valori teorici. Per questo motivo, il diagramma mostra come varia il reciproco della conducibilità equivalente (in $mol/(S*cm^2)$) rispetto alla conducibilità specifica fino alla concentrazione di 1 mol/l. Dall'intersezione e dalla pendenza della retta risultante si possono calcolare K_{Diss} e Λ_0 (vedere l'ultima equazione riportata nelle Informazioni teoriche). Poiché piccoli errori nelle misure introducono grandi errori nel diagramma, si è preferito rinunciare a questo calcolo. Invece, si è preferito usare i valori teorici per verificare i risultati delle misure:

Calcolare il corrispondente andamento lineare con i parametri A per pK_{Diss} e B per Λ_0 nel menu alla voce Interpolazione libera (**Alt+F**). Inserire "1/B + x/(B^2 * 10^-A)" nel campo riservato alla formula; inserire i valori teorici "4,76" di pK_{Diss} (parametro A) e "390,6" per Λ_0 (parametro B) e mettere lo switch associato su **costante**. Quindi, cliccando su **Continua con Scelta Range**, selezionare un range opportuno in cui riportare i risultati della misura in modo da ottenere la retta calcolata precedentemente.

Informazioni teoriche

La conducibilità equivalente Λ_{eq} è una grandezza caratteristica della sostanza. Essa è data dal rapporto tra la conducibilità specifica C_{A1} e la concentrazione equivalente

$$\Lambda_{eq} = \frac{C_{A1}}{c_0 \cdot n}$$

dove c_0 è la concentrazione molare della sostanza disciolta ed n il numero di coppie di cariche positive e negative liberate dalla dissociazione di una molecola. Nel caso dell'acido acetico si ha n = 1:

$$HAc + H_2O \rightleftharpoons Ac^- + H_3O^+$$

L'equilibrio è individuato da due parametri caratteristici: il grado di dissociazione α e la costante di equilibrio (costante di acidità) K_{Diss}.

α è definito come

$$\alpha = \frac{[Ac^-]}{c_0}$$

in cui c_0 è la concentrazione iniziale dell'acido acetico e $[Ac^-]$ è la concentrazione degli ioni acetato presenti nella soluzione.

K_{Diss} e la costante di acidità dell'acido acetico sono identiche:

$$K_{Diss} = \frac{[Ac^-] \cdot [H_3O^+]}{[HAc]}$$

.

Inserendo

$$[Ac^-] = [H_3O^+] = \alpha \cdot c_0$$

e

$$[HAc] = (1 - \alpha) \cdot c_0$$

nell'espressione di K_{Diss}, si ottiene la "la legge di diluizione di Oswald". Per gli elettroliti monovalenti si ha:

$$K_{Diss} = \frac{\alpha^2 \cdot c_0}{1 - \alpha}$$

.

Per gli elettroliti deboli con un piccolo valore di K_{Diss}, si verifica che α aumenta al diminuire della concentrazione c_0 fino ad $\alpha = 1$ nel caso di una diluizione infinita. Infatti, gli elettroliti deboli si dissociano completamente quando la diluizione è infinita poiché, a causa della distanza infinita tra anioni e cationi, la ricombinazione non è più possibile.

Tenuto conto della conducibilità equivalente limite, cioè della conducibilità equivalente con diluizione Λ_0 infinita, si ha $\alpha = 1$. Poiché la conducibilità equivalente è proporzionale alla quantità di molecole dissociate, il grado di dissociazione si può calcolare anche in questo modo:

$$\alpha = \frac{\Lambda_{eq}}{\Lambda_0}$$

.

Per gli elettroliti forti, dalla "legge della radice quadrata" di Kohlrausch si ottiene:

$$\Lambda_{eq} = \Lambda_0 - K\sqrt{c_0}$$

.

Da essa, si può ricavare graficamente Λ_0. Negli elettroliti forti, Λ_0 si può determinare in modo indiretto mediante la "legge della migrazione indipendente degli ioni" la quale stabilisce che, nel caso di diluizione infinita, gli ioni con carica di segno opposto si muovono indipendentemente uno dall'altro. Per i composti monovalenti si ha:

$$\Lambda_0 = \lambda_+ + \lambda_-$$

dove λ_+ e λ_- sono le conducibilità equivalenti dei singoli tipi di anioni e cationi a diluizione infinita. Queste conducibilità non si possono misurare singolarmente, poiché dalle conducibilità equivalenti limite degli elettroliti forti si ottiene la loro somma. La conducibilità equivalente dell'acido acetico a diluizione infinita si calcola in questo modo:

$$\Lambda_0(HAc) = \Lambda_0(HCl) + \Lambda_0(NaAc) - \Lambda_0(NaCl)$$

$$= \lambda(H^+) + \lambda(Cl^-) + \lambda(Na^+) + \lambda(Ac^-) - \lambda(Na^+) - \lambda(Cl^-) = \lambda(H^+) + \lambda(Ac^-)$$

Inserendo i valori teorici, si ottiene Λ_0(HAc) = 390,6 S*cm^2/mol.

Questo valore è usato nell'esempio dell'esperimento per calcolare α con il quale, eventualmente, si può determinare la costante di dissociazione K_{Diss} secondo la "legge della diluizione di Ostwald".

Esiste un'altra possibilità per determinare la conducibilità equivalente limite, bisogna inserire

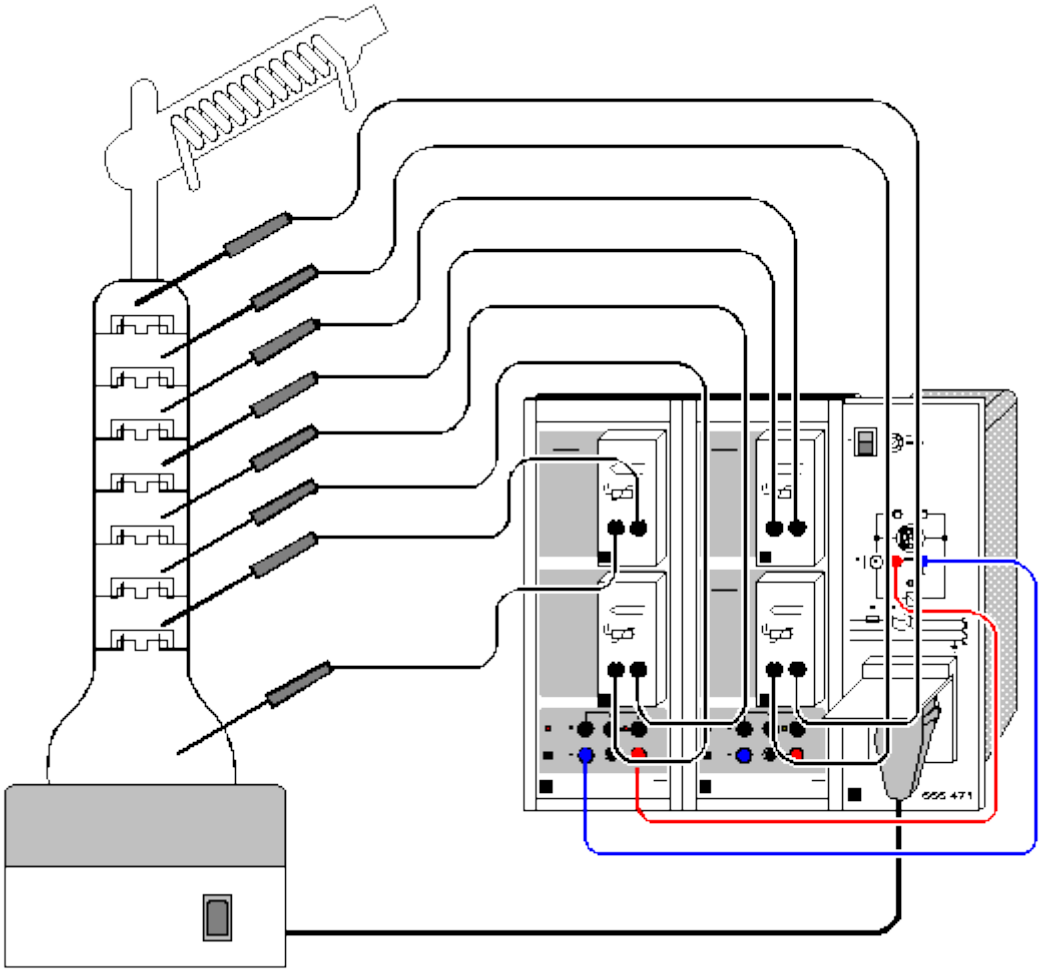
$$\alpha = \frac{\Lambda_{eq}}{\Lambda_0}$$

nella legge della diluizione di Ostwald. Eseguiti i vari passaggi, si ottiene l'espressione:

$$\frac{1}{\Lambda_{eq}} = \frac{1}{\Lambda_0} + \frac{\Lambda_{eq} \cdot c_0}{K_{Diss} \cdot \Lambda_0^2}.$$

Tracciando $1/\Lambda_{eq}$ in funzione di $\Lambda_{eq}*c_0$, si ottiene una retta avente $1/\Lambda_0$ come intersezione con l'asse e $1/(K_{Diss}*\Lambda_0)$ come pendenza, quindi per l'acido acetico si ha $\Lambda_{eq}*c_0 = C_{A1}$. Tuttavia, poiché piccole imprecisioni nelle misure provocano grandi errori nei risultati, questo metodo è conveniente solo nel caso di misure molto precise. In questo caso, l'equazione si può usare per verificare la precisione della misura nel campo delle basse concentrazioni.

Separazione di un miscuglio di due componenti con l'apparecchio di rettificazione CE2



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

L'apparecchio di rettificazione CE2 permette di separare le diverse sostanze organiche contenute in un miscuglio, per esempio un miscuglio di metanolo ed etanolo in rapporto 1:1; il sistema permette anche di determinare gli stadi teorici della separazione con totale riflusso del materiale.

In questo esperimento, mediante il computer, si possono misurare e registrare fino ad otto temperature diverse e nello stesso tempo tenere sotto controllo il riscaldamento.

Elenco delle apparecchiature

2	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
4	Box di temperatura	524 045
8	Sensori di temperatura NiCr-Ni	666 193
1	Generatore di tensione CPS, commutabile	666 471
1	Apparecchio di rettificazione CE2	661 311
1	Telaio di sostegno CE2	661 301
1	Multipla di alimentazione CPS	665 497
1	Telaio per pannelli	666 425
1	Coppia di cavi, 50 cm, rosso e blu	501 45
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

Per maggiori informazioni sul montaggio delle apparecchiature (vedere figura), fare riferimento al manuale degli esperimenti (668 922) e alla Scheda Istruzioni dell'apparecchio di rettificazione. **Osservare le norme di sicurezza riportate nella Scheda Istruzioni!**

Montare le due unità Sensor-CASSY nel livello superiore del telaio per pannelli CPS e disporle in cascata.

Collegare i box di temperatura agli **ingressi analogici A_1, B_1, A_2 e B_2**. Collegare i due sensori di temperatura NiCr-Ni a ciascun box di temperatura. A partire dalla base della colonna dell'apparecchio di rettificazione, i sensori di temperatura sono nel seguente ordine:

ϑ_{A11} (base); ϑ_{A12}; ϑ_{B11}; ϑ_{B12}; ϑ_{A21}; ϑ_{A22}; ϑ_{B21}; ϑ_{B22} (testa della colonna)

La **Tensione d'uscita S_1** è collegata all'alimentatore CPS e la manopola di settaggio della CASSY è in posizione centrale. Il generatore di tensione CPS commutabile è controllato in modo che l'interruttore si apra ad una particolare temperatura ϑ_{A11} della base della colonna e dopo un certo intervallo di tempo t. Questi parametri si possono specificare mediante una formula la cui espressione è definita in Settaggi Relè/Generatore di Tensione (cliccare su S_1 con il pulsante destro del mouse).

La condizione di default è la seguente **&JA11 < 120 and t > 0 and t < 2:00:00**. In questo caso, si attiva il riscaldamento e si avvia la misura solo se la temperatura ϑJ_{A11} (&JA11) è minore di 120 °C; questa situazione permane per un intervallo di tempo di due ore. È possibile, però, modificare le condizioni di default ed adattarle di volta in volta ad una situazione diversa. Va tenuto presente che con questa formula si garantisce una maggiore sicurezza per lo sperimentatore.

L'uscita del relè R_1 è sempre disponibile. Essa si può usare per la rettificazione del vuoto CE 4/1 (661 332) ed ottenere, così, un controllo più accurato.

Calibrazione

Per migliorare la precisione della misura, è opportuno calibrare i sensori di temperatura quando si usano per la prima volta oppure dopo un lungo periodo d'inattività.

- Carica settaggi
- Selezionare **Corretto** in Settaggi ϑA11.
- Immergere il sensore di temperatura ϑ_{A11} in acqua ghiacciata (0 °C).
- Inserire 0 come primo valore di riferimento e cliccare su **Offset Corretto**.
- Immergere il sensore di temperatura in acqua bollente (100 °C).
- Inserire 100 come secondo valore di riferimento e cliccare su **Fattore Corretto**.
- Calibrare gli altri sette sensori di temperatura con lo stesso procedimento.
- Salvare i settaggi della calibrazione sotto un nuovo nome con **F2** in modo da poterli usare successivamente.
- Mettere un segno su Sensor-CASSY, sui sensori di temperatura e sui box sensori in modo da usare sempre la stessa configurazione (questo è l'unico modo che consente di memorizzare ed utilizzare sempre la stessa calibrazione).

Esecuzione dell'esperimento

- Attivare il congelatore (criostato o altro).
- Attivare l'apparecchio di riscaldamento chiudendo il suo interruttore.
- Controllare tutto il sistema.
- Avviare la misura con **F9** (il riscaldatore entra in funzione automaticamente).
- Aspettare che la temperatura raggiunga un valore costante.
- Arrestare la misura con **F9**.
- Aprire l'interruttore del dispositivo di riscaldamento e diminuire la temperatura.
- Aprire l'interruttore del congelatore dopo aver raffreddato la base della colonna.

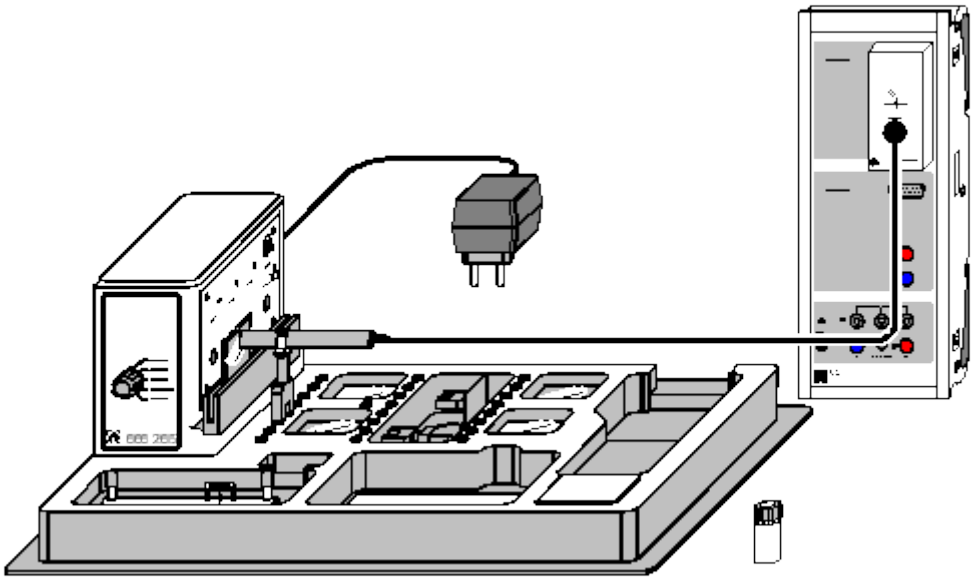
I campioni con le relative valutazioni sono descritti nel manuale: Metodi di separazione termica, Parte 2: Rettificazione (668 922).

Valutazione dei risultati

È importante che la temperatura sia costante lungo tutta la colonna. Una volta raggiunta questa condizione, l'apparecchio si trova nella condizione di equilibrio e si può iniziare il campionamento. Le misure indicano che, a causa delle diverse composizioni dei miscugli di fase, i singoli scomparti si trova-

no a temperatura diversa. Dall'esempio, si vede che lo scomparto inferiore si trova ad una temperatura più bassa rispetto allo scomparto superiore. Poiché nello scomparto più alto prevale la fase di vapore, è normale che esso si trovi ad una temperatura maggiore di quella dello scomparto immediatamente più in basso.

Assorbimento della radiazione UV



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

☐ Carica esempio

Norma di sicurezza

Non guardare direttamente il raggio.

Descrizione dell'esperimento

Si determina la trasmissione di diversi materiali nei confronti delle radiazioni UV-A, UV-B ed UV-C e si verifica l'effetto degli schermi solari misurando l'illuminamento trasmesso.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Lux box	524 051
1	Sensore UV-A	666 244
	e/oppure	
1	Sensore UV-B	666 245
	e/oppure	
1	Sensore UV-C	666 246
1	Kit per esperimenti UV-IR-VIS	666 265
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

Collegare a Sensor-CASSY il lux box assieme al sensore UV selezionato (A, B, o C). Fissare con un morsetto, stringendolo più possibile, il sensore UV all'apposita apertura d'uscita del kit per esperimenti UV-IR-VIS. Controllare che la barra di sostegno rimanga libera per poter inserire altri materiali campioni. Collegare il kit per esperimenti all'alimentatore con l'apposita spina.

Leggere attentamente le schede istruzioni del kit per esperimenti UV-IR-VIS e dei sensori.

Calibrazione

Calibrare il sensore UV quando si usa per la prima volta.

☐ Carica settaggi

- Selezionare il pulsante **Corretto** in Settaggi Illuminamento EA1, inserire il fattore stampato sul sensore e cliccare **Fattore Corretto**.

- La stessa calibrazione è valida solo se si usa lo stesso sensore.

Esecuzione dell'esperimento

Carica i settaggi di calibrazione

- Accendere la lampada UV desiderata ed attendere circa 5 minuti, cioè fino a quando dalla finestra di visualizzazione risulta che l'**Illuminamento E_{A1}** ha raggiunto un valore finale stabile. Se si supera il range effettivo, in Settaggi Illuminamento EA1 si può selezionare un altro range di misura.
- Registrare il primo valore misurato (senza assorbitore) premendo il tasto **F9** o il pulsante .
- Inserire in successione i seguenti assorbitori nella barra di sostegno tra la lampada UV ed il sensore:
  - vetro di quarzo,
  - vetro di finestra,
  - plexiglas,
  - PVC,
  - vetro di quarzo con un sottile strato di protezione solare (Parsol),
  - opzionalmente: vetro di quarzo con un strato sottile di olio da cucina, lente da occhiali

  Registrare i risultati della misura ottenuti con ciascuno degli oggetti opzionali.

Valutazione dei risultati

I valori sono visualizzati in due diagrammi: il diagramma a barre **Illuminamento** mostra i valori assoluti dei risultati della misura. Con **Alt+T**, a ciascuna barra si può aggiungere un testo con la spiegazione.

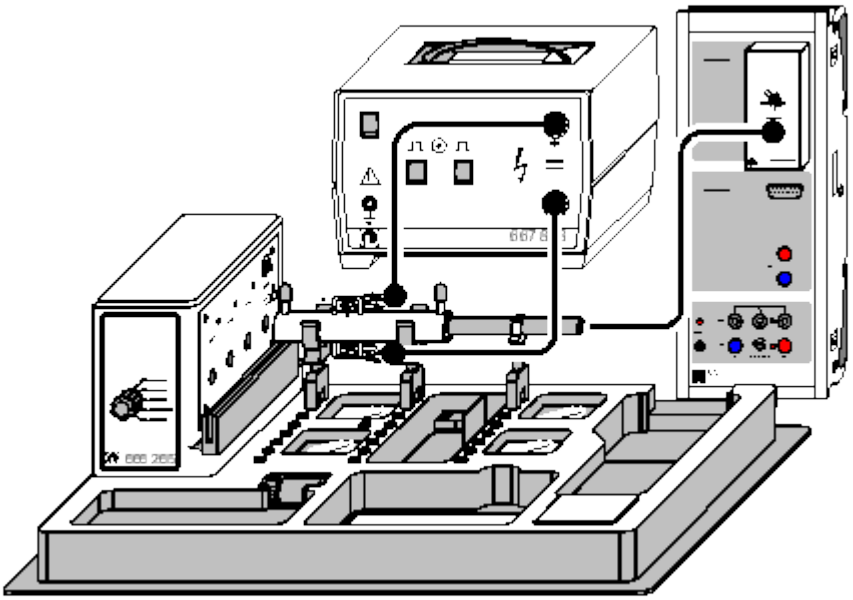
Il secondo diagramma, **Trasmissione**, mostra la percentuale di radiazione analizzata che attraversa ciascun materiale.

L'effetto filtrante sulla radiazione UV-B e UV-C e la trasmissione della radiazione UV-A da parte di alcuni materiali è molto importante poiché queste radiazioni possono rappresentare un pericolo per l'uomo:

Nel caso del vetro di quarzo ricoperto con un filtro che scherma i raggi solari, la trasmissione della radiazione UV-A che aumenta l'abbronzatura della pelle è molto maggiore della trasmissione delle radiazioni UV-B e UV-C che, invece, sono pericolose. Negli ultimi decenni, le radiazioni UV-B sulla superficie terrestre sono aumentate a causa del continuo abbassamento del livello di ozono. Si considera che questo effetto sia la causa di alcuni danni ereditari come il cancro della pelle e la cecità. L'agente Parsol protegge la pelle perché scherma le radiazioni UV-B ed UV-C e lascia passare la radiazione abbronzante UV-A.

Poiché la radiazione UV-C è più aggressiva della radiazione UV-B, il requisito necessario per rendere possibile la vita sulla terra è dato dall'azione filtrante della radiazione UV-C da parte di molti materiali ed in particolare da parte dell'atmosfera.

Simulazione del buco dell'ozono



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Norme di sicurezza

Non guardare direttamente un raggio UV-C.

Usare tensioni di alimentazione elevate con contatti isolati e correnti continue I < 2 mA.

Eseguire la regolazione di corrente in modo compatibile con il trattamento delle sostanze chimiche.

Non respirare in ambienti con vapore di diclorometano.

Descrizione dell'esperimento

L'ozono si ottiene mediante una scarica elettrica silenziosa ottenuta con un generatore di alta tensione in un manicotto chiuso. Si vuole determinare l'assorbimento della radiazione UV-C da parte dell'ozono ottenuto nel manicotto in funzione del tempo mediante una misura dell'illuminamento E con un sensore di raggi UV-C.

Aggiungendo una piccola quantità di diclorometano (CH_2Cl_2, in sostituzione di CFC), si ottiene un marcato aumento dell'illuminamento (diminuisce l'assorbimento) da cui si deduce che l'ozono contenuto nel manicotto degrada in presenza di diclorometano.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Lux box	524 051
1	Sensore di UV-C	666 246
1	Kit per esperimenti su UV-IR-VIS	666 265
1	Bulbo di gomma	667 241
1	Siringa, 1 ml	665 957
1	Alimentatore a scintilla	667 818
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Sostanze chimiche

Diclorometano, per es. 250 ml	671 6600

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

Collegare il lux box a Sensor-CASSY insieme al sensore UV-C.

Montare il kit per esperimenti UV-IR-VIS in modo da bloccare la radiazione UV-C. Montare il manicotto sul kit UV-IR-VIS con i due sostegni di fronte all'apertura d'uscita della radiazione UV-C e collegare i contatti metallici all'alimentatore a scintilla con due morsetti e i cavi di collegamento. Poiché il campo elettrico è molto intenso, controllare che i cavi di collegamento non siano uno sopra l'altro o troppo vicini al sensore e a Sensor-CASSY o ai loro collegamenti. Mediante un sostegno, collocare il sensore UV di fronte alla finestra del manicotto. Collegare il kit per esperimenti UV-IR-VIS all'alimentatore con l'apposita spina.

Leggere attentamente le schede istruzioni del kit per esperimenti UV-IR-VIS e dell'alimentatore a scintilla.

Calibrazione

Calibrare il sensore UV prima dell'uso.

- Carica settaggi
- Selezionare il pulsante **Corretto** in Settaggi Illuminamento EA1, inserire il fattore stampato sul sensore e cliccare **Fattore Corretto**.
- La stessa calibrazione è valida solo se si usa lo stesso sensore.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica i settaggi di calibrazione
- Con il bulbo di gomma eliminare i residui di gas che possono essere depositati sulla sinistra del manicotto e chiudere le sue aperture con i due tappi neri.
- Accendere la lampada UV-C ed attendere circa 5 minuti, cioè fino a quando dalla finestra di visualizzazione risulta che l'**Illuminamento E_{A1}** ha raggiunto un valore finale stabile.
- Se si supera il range effettivo, in Settaggi Illuminamento EA1 si può selezionare un altro range di misura.
- Accendere l'alimentatore a scintilla e selezionare la modalità "funzionamento in continua" (LED rosso acceso).
- Avviare immediatamente la registrazione dei dati premendo il tasto **F9** o il pulsante .
- Durante tutta la misura non muovere il manicotto e il sensore poiché la misura risulterebbe errata.
- Spegnere l'alimentatore a scintilla dopo 5 – 10 minuti e marcare questo istante sul diagramma con una linea verticale azionando i tasti **Alt+V**.
- Accendere di nuovo l'alimentatore dopo 3 – 5 minuti e marcare di nuovo tale istante sul diagramma con i tasti **Alt+V**.
- Dopo altri 3- 5 minuti, agitare brevemente la bomboletta contenete diclorometano e, con la siringa, prelevare 1 ml di vapore dallo strato gassoso situato sopra il liquido. Chiudere la bomboletta. Non respirare il vapore.
- Aprire un estremo del manicotto, iniettare il contenuto della siringa e, dopo aver chiuso il manicotto, marcare di nuovo con **Alt+V** l'istante dell'iniezione.
- Trascorsi altri 3 – 5 minuti, bloccare la registrazione dei dati premendo il tasto **F9** o il pulsante e spegnere l'alimentatore.

Note

La formazione e il decadimento dell'ozono nella stratosfera (da 10 a 35 km di altezza) sono governati da diverse reazioni:

1. $O_2 \xrightarrow{h\cdot\nu} \dot{O} + \dot{O}$ $\quad \lambda < 240$ nm
2. $\dot{O} + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$
3. $O_3 \xrightarrow{h\cdot\nu} O_2 + \dot{O}$ $\quad \lambda < 310$ nm
4. $\dot{O} + O_3 \rightarrow 2\,O_2$

Queste reazioni mantengono la concentrazione di ozono in un equilibrio stazionario.

Se la radiazione UV-C di lunghezza d'onda minore di 240 nm agisce sull'ossigeno, si ha la formazione di ozono (reazioni 1 e 2) poiché i radicali ossigeno che si formano in questo processo reagiscono con le altre molecole di ossigeno per produrre ozono e la loro energia cinetica viene ceduta ad un terzo reattivo inerte M (per es. una molecola di azoto). La lampada al mercurio usata nel kit per esperimenti UV-IR-VIS genera una radiazione UV-C con una lunghezza d'onda di 254 nm, poiché essa non riesce a separare le molecole di ossigeno, in questo esperimento per ottenere la reazione 1 è necessaria un'alta tensione di 10 kV.

Il decadimento dell'ozono si ottiene anche con una radiazione UV: tuttavia, per la separazione (reazione 3) è sufficiente una radiazione con una lunghezza d'onda minore di 310 nm. Poiché la formazione e il decadimento dell'ozono dipendono dalla radiazione UV, lo strato di ozono presente nell'atmosfera da luogo ad un assorbimento completo della radiazione UV-C (220-280 nm, avvio delle reazioni 1 e 3) e ad un parziale assorbimento della radiazione UV-B (280-320 nm, avvio della reazione 3).

Il decadimento dell'ozono da parte del CFC viene avviato anche dalla radiazione UV-C:

5. $R_3CCl \xrightarrow{h\cdot\nu} R_3\dot{C} + \dot{Cl}$

6. $\dot{Cl} + O_3 \rightarrow O_2 + Cl\dot{O}$

7. $Cl\dot{O} + \dot{O} \rightarrow O_2 + \dot{Cl}$

Il radicale cloro che si forma nella reazione 5 per assorbimento della radiazione UV-C si trova ancora allo stato libero ed interviene anche nelle reazioni 6 e 7, per cui il radicale ossigeno della reazione 7 proviene dal naturale decadimento dell'ozono (reazione 3) oppure dalla naturale separazione dell'ossigeno (reazione 1). Quindi sono sufficienti pochi radicali cloro per dare inizio ad una reazione a catena che conduce al decadimento dell'ozono.

Contrariamente al CFC, il diclorometano usato in questo esperimento degenera già nella troposfera e non può danneggiare lo strato di ozono.

Valutazione dei risultati

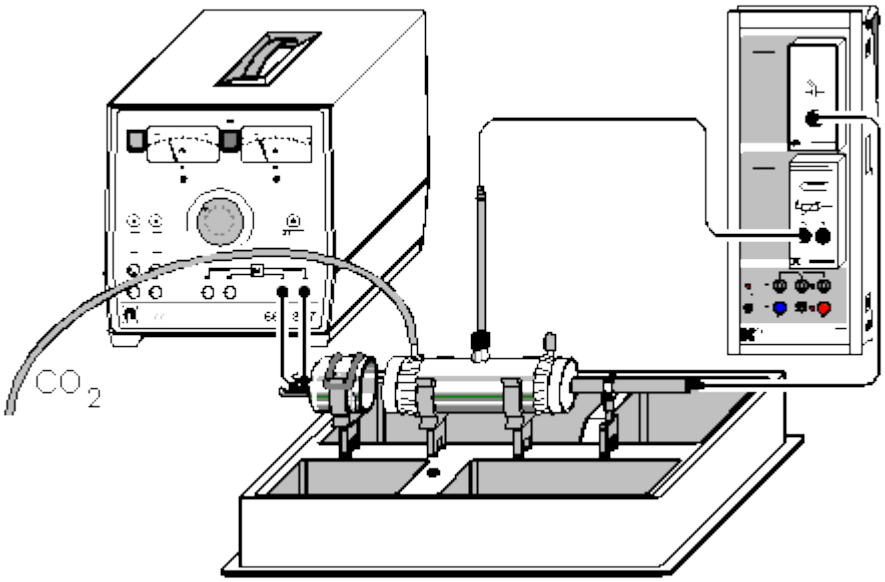
Per ottenere una visualizzazione più chiara, si possono eliminare i valori ottenuti in corrispondenza delle brevi fluttuazioni di illuminamento dovute all'accensione e allo spegnimento dell'alimentatore ad alta tensione; per fare questo bisogna cliccare due volte su questi valori nella tabella e premere la barra di spazio.

Per avviare la valutazione, al posto del valore di default "0,290", inserire nel campo Formula di Settaggi Assorbimento A il primo valore dell'illuminamento E_{A1} della serie di misure. Con **Alt+T** si può inserire un testo di spiegazione nelle sezioni separate dalle linee verticali.

Dopo l'accensione dell'alimentatore alta tensione, le reazioni 1 e 2 (formazione ozono) prevalgono sulle reazioni di decadimento 3 e 4. Questo si può vedere, rispettivamente, dalla diminuzione dell'illuminamento o dall'aumento dell'assorbimento della radiazione UV-C (campo **A** dei diagrammi). Quando si spegne l'alimentatore alta tensione, la concentrazione di ozono diminuisce poiché i radicali ossigeno della reazione 1 non sono disponibili per la formazione di ozono e prevalgono, quindi, le reazioni degenerative 3 e 4. Di conseguenza, l'illuminamento aumenta rapidamente e l'assorbimento della radiazione si riduce (campo **B**) indicando una caduta della concentrazione di ozono.

Nel campo **C**, l'illuminamento diminuisce ancora a causa di un'altra produzione di ozono da parte dell'alta tensione. Aggiungendo ancora una piccola quantità di diclorometano si ottiene un aumento dell'illuminamento nonostante l'applicazione dell'alta tensione (campo **D** dei diagrammi). È sufficiente anche una piccolissima quantità di vapore di CH_2Cl_2 per provocare una forte diminuzione della concentrazione di ozono accompagnata da una diminuzione di assorbimento della radiazione UV-C.

Effetto Serra di CO_2



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY e Mobile-CASSY

Carica esempio

Norme di sicurezza

Il radiatore IR diventa molto caldo. Non toccare il filamento. Non utilizzare il radiatore IR con correnti maggiori di 6 A.

Attenersi alle regolazioni di corrente concernenti l'uso dei gas.

Descrizione dell'esperimento

Il riscaldamento dell'atmosfera, fenomeno conosciuto come "effetto serra", è attribuito all'aumento della concentrazione del biossido di carbonio nell'aria. L'esempio descritto in questo esperimento con l'uso del kit per esperimenti su IR-CO_2 mostra chiaramente l'effetto di CO_2: se la concentrazione di CO_2 aumenta, si trova sperimentalmente che a tale aumento corrisponde un assorbimento dei raggi infrarossi ed un aumento della temperatura.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Lux box	524 051
1	Sensore IR-CO_2	666 248
1	Box di temperatura	524 045
1	Sensore di temperatura NiCr-Ni	666 216
1	Kit per esperimenti su IR-CO_2	666 2651
1	Trasformatore D per bassa tensione variabile	667 827
1	Tubo al silicone, diametro interno 5 mm	604 431
1	Cavo di collegamento, 50 cm, rosso	501 25
1	Cavo di collegamento, 50 cm, blu	501 26
2	Morsetti a coccodrillo	501 83
1	Bulbo di gomma	667 241
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Sostanze chimiche

Biossido di carbonio, gas in una bomboletta	661 0082
con valvola di riduzione della pressione secondo la normativa DIN	661 017

Preparazione dell'esperimento (vedere figura)

Leggere attentamente le schede istruzioni del kit per esperimenti IR-CO_2, del trasformatore per bassa tensione variabile e del sensore IR-CO_2.

Collegare il lux box con il sensore IR-CO_2 all'ingresso A di Sensor-CASSY e collegare all'ingresso B di Sensor-CASSY il box di temperatura con il sensore di temperatura inserito in T_1.

Inserire il radiatore IR nel sostegno fissato alla cassetta, ricoprire il manicotto di misura con due fogli di plastica e fissarlo con i sostegni alla cassetta in modo che la sua distanza dal radiatore sia di almeno 5 mm, avvitare il sensore di temperatura al connettore GL14 in modo che la punta dell'elemento sensibile sia posizionata al centro del manicotto.

Mediante il morsetto di sostegno, montare il sensore IR-CO_2 immediatamente dietro il manicotto di misura e collegare l'uscita della corrente continua del trasformatore per bassa tensione (0 – 20 V) ai morsetti del radiatore mediante i cavi di collegamento.

Collegare una delle aperture del manicotto alla bomboletta di gas con un tubicino. Chiudere l'altra apertura con un tappo di plastica nero.

Calibrazione

Calibrare il sensore IR-CO_2 prima dell'uso.

- Carica settaggi
- Selezionare il pulsante **Corretto** in Settaggi Illuminamento EA1, inserire il fattore stampato sul sensore e cliccare su **Fattore Corretto**.
- La stessa calibrazione è valida solo se si usa lo stesso sensore.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica i settaggi di calibrazione
- Regolare la corrente su un valore di almeno 6 A in modo che il filamento si riscaldi molto debolmente. Il valore della temperatura non deve superare gli 80 °C.
- Quando la temperatura e l'illuminamento sono costanti (osservare la finestra di visualizzazione in CASSY Lab), iniziare la misura premendo il tasto **F9** o il pulsante .
- Dopo circa un minuto, togliere il tappo nero e lasciare defluire il biossido di carbonio nel manicotto per circa un minuto. Premendo i tasti **Alt+V**, marcare l'istante in cui il biossido di carbonio comincia a defluire con una linea verticale e posizionare la linea con il mouse.
- Inserire un'altra linea verticale (**Alt+V**) quando s'interrompe l'immissione del biossido di carbonio e chiudere il manicotto con un tappo nero.
- Attendere altri 3 – 5 minuti fino a quando la temperatura risulta di nuovo costante. Arrestare la misura premendo il tasto **F9** o il pulsante ed aprire l'interruttore del trasformatore per bassa tensione variabile.

Valutazione dei risultati

I due diagrammi mostrano la relazione tra la temperatura (primo diagramma) / illuminamento (secondo diagramma) e l'assorbimento del biossido di carbonio.

Ai fini della valutazione, sono importanti gli stati stazionari prima e dopo l'introduzione del biossido di carbonio.

1. Il confronto della temperatura e dell'illuminamento prima e dopo aver riempito il manicotto con biossido di carbonio mostra un marcato aumento di temperatura unito ad una riduzione dell'illuminamento.

Per confrontare i valori iniziali e i valori alla fine della misura, inserire nel diagramma prima i valori medi. Per fare questo, cliccare sul diagramma con il pulsante destro del mouse, selezionare **Traccia Valore Medio** e marcare il corrispondente range della curva all'inizio e alla fine della serie di misure. Il

valore medio calcolato da CASSY Lab è visualizzato da una riga orizzontale. Il valore corrispondente si può trascinare con il mouse dalla linea di stato al diagramma.

Avvertimento: se con i pulsanti $\mathbf{E}_{A1}$ e ϑ_{B11} si ottiene una scala dell'asse Y troppo grande rispetto ai valori ottenuti dalla misura, vengono visualizzati i valori medi e le etichette con lo stesso colore dei rispettivi diagrammi.

La differenza esatta tra i due valori medi della temperatura e dell'illuminamento si trasferisce sulla linea di stato premendo **Alt+D** e cliccando successivamente sulle rette dei due valori medi. Inoltre, questo valore si può trascinare sul diagramma con il mouse.

2. Per determinare l'assorbimento, inserire il primo valore medio E_0 (valore iniziale) in Settaggi illuminamento E0 nel campo formula. Per il calcolo dell'assorbimento A si utilizza la formula

$$A = 100 - \left(\frac{E_{A1}}{E_0} \cdot 100 \right)$$

I valori medi e le differenze si inseriscono come nel caso del primo diagramma.

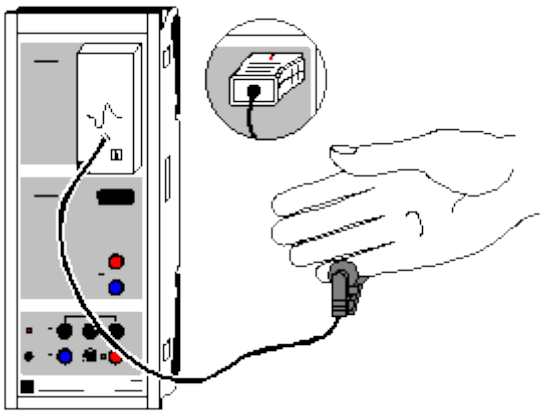
Il risultato mostra chiaramente che il biossido di carbonio assorbe una grande quantità di raggi infrarossi. L'aumento di temperatura nel manicotto si può attribuire a questo assorbimento.

Esempi di esperimenti di biologia

Gli esperimenti proposti forniscono un utile supporto per l'uso di CASSY Lab. I dati delle misure o i vari settaggi si possono caricare direttamente da CASSY Lab. È sufficiente cliccare sui pulsanti riportati nella descrizione. I nuovi esperimenti sono indicati con un punto rosso •.

- Pulsazioni
- Resistenza della pelle
- Elettrocardiogramma (ECG)
- Elettromiogramma (EMG)
- Pressione del sangue
- Tempo di reazione
- Capacità polmonare (spirometria)
- Misura lunga di dati meteo

Pulsazione



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

☐ Carica esempio

Norme di sicurezza

I risultati ed i diagrammi di questo esperimento sono poco significativi dal punto di vista medico e non sono adatti per diagnosticare lo stato di salute di una persona.

Utilizzare pulse box solo come descritto nel Foglio Istruzioni.

Descrizione dell'esperimento

Le pulsazioni dovute alla circolazione del sangue modificano le proprietà ottiche del corpo umano. L'interfaccia CASSY permette di determinare la frequenza della pulsazione per mezzo dell'apposito box sensore. Il software registra le variazioni di frequenza della pulsazione; questa prova è utile quando, ad esempio, si vuole fare dei controlli su un atleta sia durante che dopo uno sforzo fisico.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box Pulsazione o Sensore Pulsazione S	524 047(1)
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Il sensore della pulsazione va posizionato in un punto del corpo in cui c'è una elevata circolazione sanguigna, per esempio, alla radice dell'unghia del dito mignolo; il segnale del sensore viene inviato all'ingresso A di Sensor-CASSY attraverso il pulse box. Fare in modo che il sensore non si muova durante la misura poiché il risultato verrebbe falsato.

Esecuzione dell'esperimento

☐ Carica settaggi

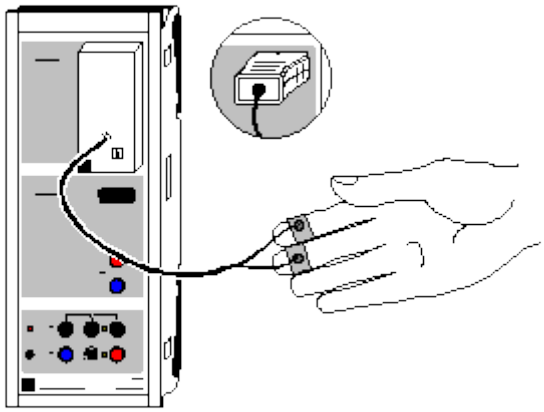
- Attendere che sullo strumento P_{A1} si legga un valore di pulsazione costante (adattare il box al livello del segnale).
- Avviare la misura con **F9**.
- Verificare il modo in cui la curva della pulsazione dipende dallo sforzo fisico (piegare un ginocchio).
- Arrestare la misura con **F9**.
- Si può ripetere la misura in condizioni diverse o con altri soggetti. Prima di avviare la misura con **F9**, attendere che il valore della pulsazione si stabilizzi.

Valutazione dei risultati

Dai diagrammi ricavati, si può determinare il valore medio della frequenza della pulsazione. Bisogna cliccare sul diagramma con il pulsante destro del mouse, selezionare **Traccia il Valore Medio** ed

evidenziare il tratto di curva desiderato Il risultato compare sulla linea di stato in basso a sinistra e si può inserire come testo in un punto del diagramma.

Resistenza della pelle



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Norme di sicurezza

I risultati ed i diagrammi di questo esperimento sono poco significativi dal punto di vista medico e non sono adatti per diagnosticare lo stato di salute di una persona.

Utilizzare il box resistenza della pelle solo come descritto nel Foglio Istruzioni.

Descrizione dell'esperimento

La resistenza R della cute varia in funzione di diversi fattori esterni. Per esempio, questa proprietà può servire ad analizzare le capacità di autorigenerazione oppure gli effetti prodotti da una situazione di pericolo. Dalla misura si ottiene il valore della conduttanza G = 1/R della pelle (maggiore è il valore della conduttanza e minore è la resistenza).

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box resistenza della pelle o Sensore resistenza della pelle S	524 048(1)
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Inserire il box resistenza della pelle nell'ingresso A di Sensor-CASSY e fissare saldamente gli elettrodi sulla punta delle dita indice e medio del soggetto in esame con i nastri Velcro. La mano va tenuta ferma su un appoggio.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

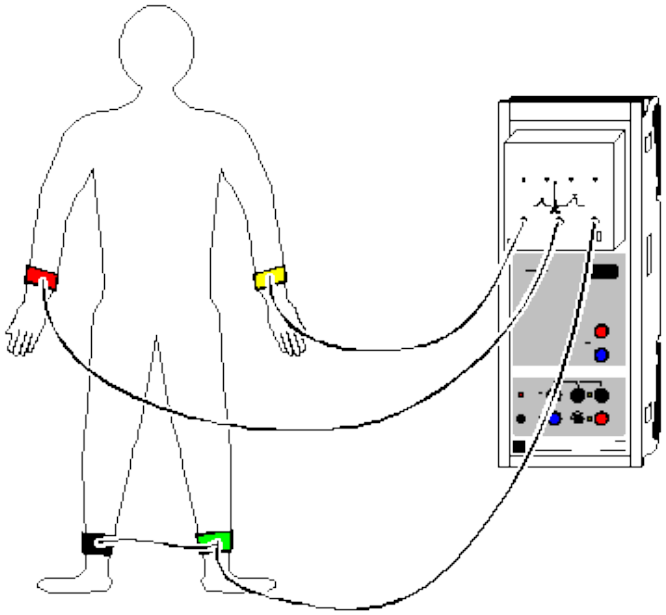
- Stabilire l'intervallo di misura in Settaggi Conduttanza della Pelle GA1 oppure trascinare l'asse y del diagramma in modo che il valore G_{A1} della conduttanza compaia nella zona centrale (eventualmente, cliccare sull'asse y ed inserire il valore con la tastiera).
- Avviare la misura con **F9**.
- Se si ritiene opportuno, analizzare gli effetti legati alla capacità di autorigenerazione o simulare una situazione di pericolo (per es. colpendo energicamente la mano) seguita da una fase di rilassamento.
- Arrestare la misura con **F9**.
- Si può ripetere la misura in condizioni diverse o con altri soggetti. Prima di eseguire una nuova misura con **F9**, aggiustare la posizione dell'asse y.

Valutazione dei risultati

Il diagramma mostra come la conduttanza della pelle varia in funzione dei diversi fattori esterni.

Dal diagramma, si può ricavare il valore medio della conduttanza della pelle. Bisogna cliccare sul diagramma con il pulsante destro del mouse, selezionare **Traccia il Valore Medio** ed evidenziare il tratto di curva desiderato. Il risultato compare sulla linea di stato in basso a sinistra e si può inserire come testo in un punto del diagramma.

Elettrocardiogramma (ECG)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Norme di sicurezza

I risultati ed i diagrammi di questo esperimento sono poco significativi dal punto di vista medico e non sono adatti per diagnosticare lo stato di salute di una persona.

Utilizzare l'ECG/EMG box solo come descritto nel Foglio Istruzioni.

Descrizione dell'esperimento

Molte stimolazioni del muscolo cardiaco sono accompagnate da variazioni di tensione elettrica, che si propaga da una cellula del muscolo cardiaco alle altre. Grazie al gran numero di cellule, le tensioni generate possono essere prelevate con elettrodi fissati al corpo e, una volta amplificate, rese visibili sotto forma di diagramma. Per l'elettrocardiogramma si usano I conduttori terminali di Einthoven (I, II, III).

Gli elettrodi misurano le variazioni di potenziale (variazioni di tensione) alle differenti contrazioni delle cavità cardiache. In stato di riposo le cellule del muscolo cardiaco sono polarizzate, p. es. c'è una lieve differenza di potenziale fra l'interno della membrana cellulare e l'esterno. Le cellule del muscolo cardiaco si possono depolarizzare senza influenza dall'esterno, cioè spontaneamente. Il gruppo di cellule che per prima si depolarizza costituisce il cosiddetto "pacemaker" (nodo senoatriale). Questo nodo è posto nell'atrio destro del cuore. La contrazione dei due atri quasi contemporanea è dovuta alla conduzione ad alta velocità degli stimoli fra le cellule.

I ventricoli sono elettricamente isolati dagli atrii. Solo in un posto c'è un gruppo di cellule (nodo atrioventricolare) che trasmette il segnale elettrico della contrazione dell'atrio al ventricolo. Un lieve ritardo della trasmissione dell'eccitazione garantisce che i ventricoli non si contraggano simultaneamente agli atrii in modo che il sangue abbia abbastanza tempo per passare dagli atrii ai ventricoli.

Il nodo atrioventricolare trasmette la depolarizzazione su fibre speciali (fasci di Hiss) ai ventricoli. Nella parete muscolare dei ventricoli ci sono altre fibre (fibre di Purkinje) che forniscono la conduzione veloce degli stimoli. Così è assicurata la contrazione simultanea e completa dei ventricoli.

La depolarizzazione, contrazione e susseguente ripolarizzazione è un processo ripetuto continuamente che crea piccoli flussi di corrente dovuti alla vicinanza di cellule polarizzate a non polarizzate. La variazione di corrente può essere misurata dall'esterno, amplificata e tracciata in funzione del tempo. L'ECG è la rappresentazione grafica delle correnti elettriche misurate.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	ECG/EMG box	524 049
1	Gelatina per gli elettrodi	662 112
1	Spray disinfettante	662 113
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Il soggetto in prova deve essere completamente rilasciato ed in posizione di riposo, altrimenti il segnale dell'ECG potrebbe essere disturbato dai potenziali elettrici della muscolatura con conseguente alterazione di tutta la misura. Per diminuire la resistenza della pelle, spargere uno strato di gelatina (662 112) sugli elettrodi ed attaccarli negli appositi punti del corpo con le cinghie di gomma. Collegare i cavi agli elettrodi in questo modo:

rosso	polso destro
giallo	polso sinistro
verde	caviglia sinistra
nero	caviglia destra

Importante

Dopo l'uso, per eliminare lo strato di sale che si forma quando la gelatina si asciuga, pulire gli elettrodi con carta assorbente o un prodotto analogo. Infine, per garantire la massima igiene, cospargere gli elettrodi e la pelle con spray disinfettante.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Avviare la misura con **F9**.
- Si ottiene la contemporanea registrazione dei segnali trasferiti dai tre collegamenti di Einthoven.
- Arrestare la misura con **F9**.

Valutazione

Per chiarezza, parte della visualizzazione dovrebbe essere ingrandita con la funzione Zoom per una prima valutazione

Un parte tipica dell'ECG è data da una linea uniforme, la linea isoelettrica. Deviazioni da questa linea sono dovute all'attività elettrica del muscolo cardiaco.

In un tipico ECG, la prima deviazione da questa linea è una piccola deflessione verso l'alto. L'onda P dura circa 0,05 secondi. Per la valutazione si può settare all'inizio ed alla fine dell'onda P una linea verticale. La durata si può calcolare con una misura differenziale fra le due linee. L'onda P è basata sulla depolarizzazione e la contrazione degli atrii.

Quindi l' ECG ritorna alla linea isoelettrica. Durante questo tempo, il nodo atrioventricolare trasmette l'eccitazione attraverso il fascio di Hiss e le fibre di Purkinje ai ventricoli. La depolarizzazione del nodo AV induce un piccolo impulso verso il basso, l'onda Q. Immediatamente insorge una rapida salita verso l'alto (onda R) ed il conseguente ritorno alla linea isoelettrica (onda S). Allora l'ECG ritorna al valore iniziale. Queste tre onde sono chiamate il complesso QRS, che è causato dalla depolarizzazione e contrazione dei ventricoli.

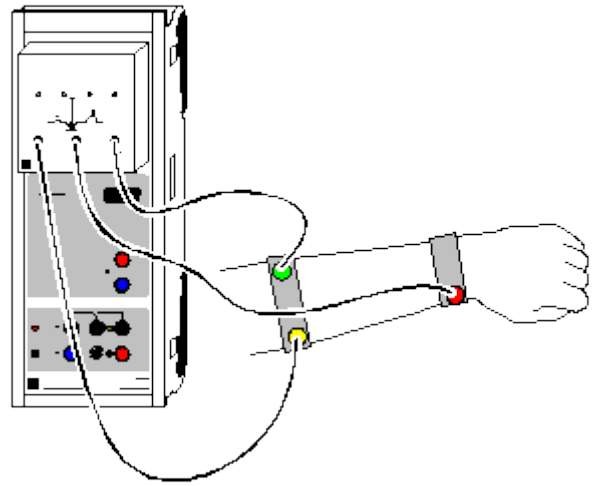
Dopo un altro intervallo la cellula si ripolarizza. La corrente corrispondente genera un'onda in salita, l'onda T.

La sequenza da P attraverso QRS a T è un ciclo del cuore. Il numero di cicli per minuto corrisponde al battito cardiaco.

Ulteriori proposte sperimentali

- Registrazione di un ECG prima e dopo uno sforzo (p. es. piegare il ginocchio)
- Statistiche della durata delle resistenze individuali per tutti gli studenti di una classe
- Differenze fra donne e uomini.

Elettromiogramma (EMG)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Norme di sicurezza

I risultati ed i diagrammi di questo esperimento sono poco significativi dal punto di vista medico e non sono adatti per diagnosticare lo stato di salute di una persona.

Utilizzare l'ECG/EMG box solo come descritto nel Foglio Istruzioni.

Descrizione dell'esperimento

In questo esperimento, si misurano i potenziali elettrici dovuti all'attività muscolare; la prova si esegue applicando gli elettrodi su una zona muscolosa del corpo umano.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	ECG/EMG box	524 049
1	Gelatina per gli elettrodi	662 112
1	Spray disinfettante	662 113
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Per registrare l'EMG della muscolatura di un dito, si collegano gli elettrodi all'inizio ed alla fine del muscolo che si trova sulla parte inferiore dell'avambraccio e l'elettrodo di riferimento sul lato opposto del fascio muscolare, cioè sulla parte esterna dell'avambraccio. Collegare gli elettrodi in questo modo:

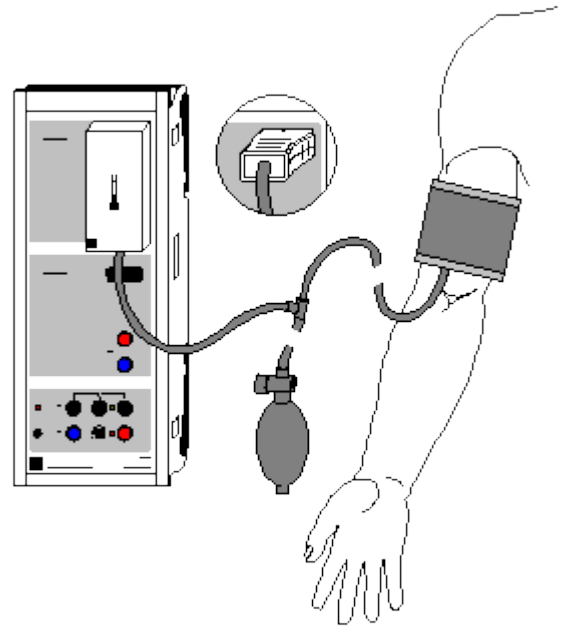
rosso	inizio del muscolo sulla parte inferiore dell'avambraccio
giallo	fine del muscolo sulla parte inferiore dell'avambraccio
verde	elettrodo di riferimento sulla parte esterna dell'avambraccio

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Avviare la misura con **F9**.
- Durante la registrazione dell'EMG, il soggetto in prova deve stringere ed aprire il pugno. La prova va ripetuta più volte.
- Arrestare la misura con **F9**.

Pressione del sangue



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Norme di sicurezza

I risultati ed i diagrammi di questo esperimento sono poco significativi dal punto di vista medico e non sono adatti per diagnosticare lo stato di salute di una persona.

Utilizzare il box pressione del sangue solo come descritto nel Foglio Istruzioni.

Descrizione dell'esperimento

Con il box per la pressione del sangue si misura la pressione esercitata su un manicotto (misura oscillometrica della pressione del sangue). Le variazioni di pressione nel manicotto servono a valutare sistole e diastole.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box pressione del sangue o Sensore pressione del sangue S	524 050(1)
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Collegare il manicotto con la valvola e la pompetta al box per la pressione del sangue inserito nell'ingresso A di Sensor-CASSY. La valvola che si trova sulla pompetta deve essere aperta per metà (al centro dei due arresti di fine corsa della vite della valvola). Regolare lo scarico della valvola in modo che ad una pulsazione corrispondano 2-3 mm di Hg. Aumentando lo scarico, la misura diventa meno accurata poiché si registrano pochi massimi significativi. Per confermare tale errore, è sufficiente eseguire una misura con la valvola completamente aperta.

Far scorrere il manicotto lungo il braccio sinistro scoperto del soggetto in prova in modo che il bordo inferiore del manicotto si trovi a 2-3 cm dal gomito. Assicurarsi che il tubo flessibile emerga dal manicotto nella zona in cui il braccio è percorso dall'arteria (in direzione della mano). Il supporto metallico non va posizionato sull'arteria perché la curva della pressione del sangue verrebbe alterata. Dopo aver avvolto il manicotto attorno al braccio, bloccarlo con i nastri Velcro. Il manicotto deve avvolgere il

braccio senza stringere in modo da non comprimere l'arteria prima di usare la pompetta. Durante la misura, tenere il braccio rilasciato ed appoggiato sul tavolo con una leggera inclinazione.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

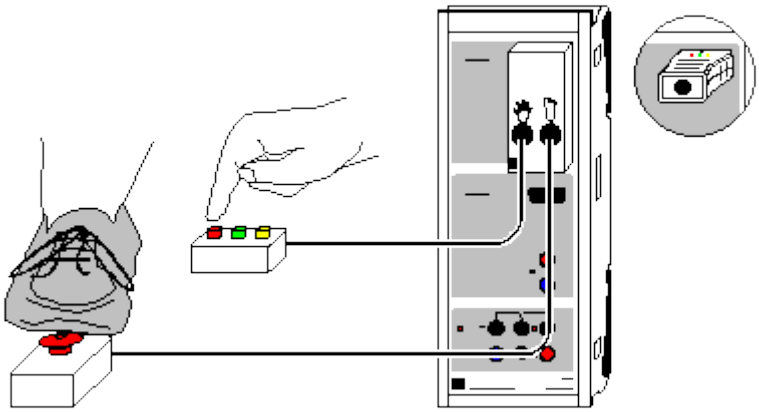
- Se si ritiene necessario, correggere l'azzeramento della pressione. Per questa operazione, aprire Settaggi Pressione del Sangue pA1 e selezionare **—> 0 <—**.
- Con la pompetta, portare la pressione del manicotto a circa 180 mm_{Hg} (dipende dalla pressione sistolica del soggetto). Il sistema visualizza come aumenta la pressione del manicotto.
- Avviare la misura con **F9**.
- Durante l'esperimento, il braccio deve restare fermo. L'ampiezza delle oscillazioni aumenta (appena la pressione scende sotto la soglia sistolica) e diminuisce (appena la pressione scende sotto la soglia diastolica).
- Se l'ampiezza delle oscillazioni resta a lungo costante, arrestare la misura con **F9**.
- Svuotare completamente il manicotto spingendo il pulsante rosso della valvola.
- Attendere almeno due minuti prima di ripetere la misura con lo stesso soggetto.

Valutazione dei risultati

Quando si supera la soglia sistolica, la pressione varia molto poco a causa delle pulsazioni che si hanno nella zona arteriosa compressa. Nel momento in cui la pressione del manicotto scende sotto il valore della pressione sistolica e nell'arteria si determina una breve apertura, l'ampiezza delle oscillazioni aumenta e raggiunge un massimo in corrispondenza della pressione arteriosa media (cioè la media aritmetica della pressione). La pressione diastolica corrisponde al valore in cui le oscillazioni decrescono ed infine si arrestano, cioè i vasi sanguigni sono completamente aperti per tutta la fase diastolica. Le variazioni della pressione residua sono dovute alle pulsazioni trasmesse nel manicotto.

Per calcolare sistole e diastole, premere il pulsante destro del mouse sul diagramma, selezionare **Determina Sistole e Diastole** ed evidenziare l'intero tratto di curva. I valori di sistole e diastole compaiono nella linea di stato in basso a sinistra e si possono inserire come testo in un punto del diagramma.

Tempo di reazione



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Il tempo di reazione si determina con l'apposito box sensore collegato ad un pulsante e/oppure ad un interruttore a pedale.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box prova reazione o Adattatore prova reazione S	524 046(1)
1	Pulsante	662 148
	e/oppure	
1	Interruttore a pedale	662 149
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Collegare il pulsante oppure l'interruttore a pedale al box prova reazione inserito nell'ingresso A di Sensor-CASSY. Per determinare il tempo di reazione con il pulsante, il soggetto deve appoggiare la mano sul tavolo in prossimità del pulsante. Per determinare il tempo di reazione con il pedale, il soggetto deve appoggiare il piede sul pavimento in prossimità del pedale.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Avviare la misura con **F9**.
- Premendo ad intervalli casuali un elemento del pulsante o del pedale, sull'indicatore compare il colore rosso, verde o giallo (quello del pedale è sempre rosso). Il soggetto in prova deve attivare nel minor tempo possibile lo stesso colore che compare sul visualizzatore. La misura del tempo di reazione compare sullo strumento, nella tabella e nel diagramma.
- Registrare il numero desiderato di tempi di reazione (da 10 a 20) con lo stesso procedimento.
- Arrestare la misura con **F9**.
- Sempre con **F9**, si può eseguire un'altra serie di misure eseguite su altri soggetti ed in altre condizioni (per es. con la mano sul pedale al posto del piede per determinare la velocità del sistema nervoso).

Valutazione dei risultati

Determinando il valore medio mediante i diagrammi ricavati sperimentalmente, si può ricavare il tempo di reazione medio. È sufficiente cliccare sul diagramma con il pulsante destro del mouse, selezionare

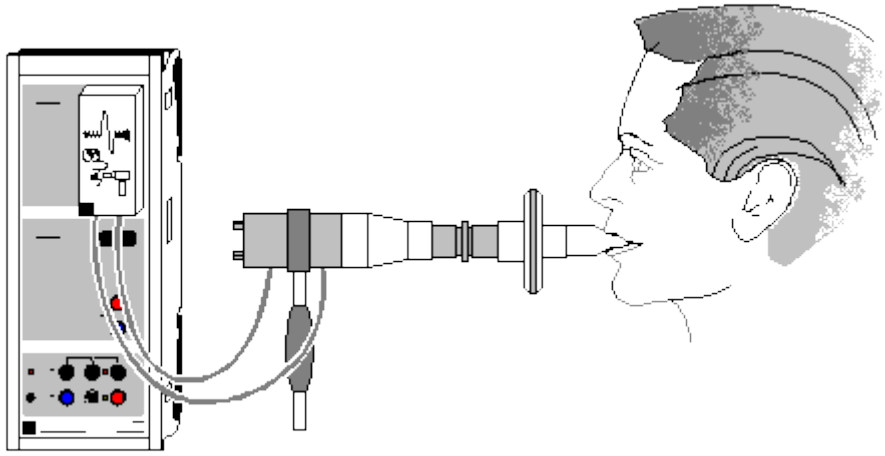
Traccia il Valore Medio ed evidenziare il tratto di curva desiderato. I valori compaiono nella linea di stato in basso a sinistra e si possono inserire come testo in un punto del diagramma.

Per determinare la velocità del sistema nervoso, bisogna determinare le diverse lunghezze dei percorsi lungo i quali si propagano gli stimoli nervosi. In questo caso, prima bisogna misurare la distanza tra la spina dorsale a livello dell'articolazione della spalla rispetto al centro della parte superiore del braccio e poi misurare la distanza tra lo stesso punto ed il centro della coscia.

La velocità media v con la quale si propagano gli stimoli nervosi è data dal rapporto tra la differenza (distanza del piede – distanza della mano) e la differenza (tempo di reazione del piede – tempo di reazione della mano), cioè

v = (l(piede) – l/(mano)) / (t(piede) – t(mano)).

Capacità polmonare (spirometria)



può anche essere eseguito con Pocket-CASSY

Carica esempio

Norme di sicurezza

Non usare mai lo spirometro senza fltri per batteri.

I risultati ed i diagrammi di questo esperimento sono poco significativi dal punto di vista medico e non sono adatti per diagnosticare lo stato di salute di una persona.

Utilizzare il box spirometro solo come descritto nel Foglio Istruzioni.

Descrizione dell'esperimento

Lo spirometro serve a determinare la capacità dell'apparato respiratorio. Il dispositivo misura la portata d'aria basandosi sul principio pneumotacografico. CASSY Lab determina la capacità respiratoria mediante un'integrazione.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box spirometro	524 056
1	Bocchino per spirometro , 30 pezzi	662 3812
1	Filtro per batteri per spirometro, 30 pezzi	662 3813
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Collegare il box spirometro all'ingresso A di Sensor-CASSY circa 10 secondi prima di iniziare la misura (fase di riscaldamento). Usare un nuovo bocchino e un nuovo filtro per batteri per ogni singolo test, e disinfettare i setacci regolarmente con un disinfettante.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

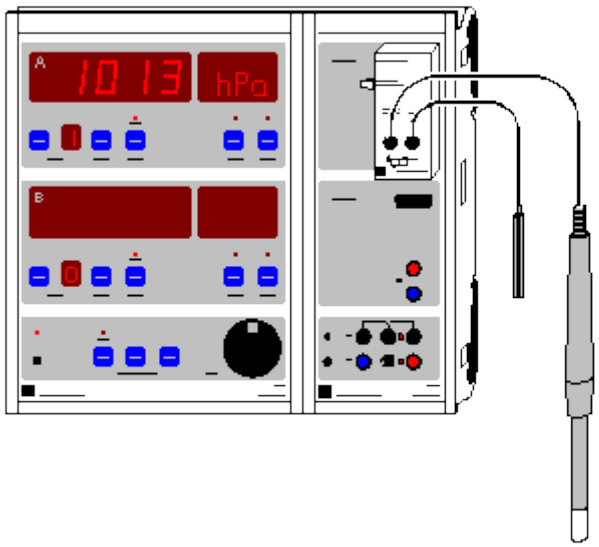
- Azzerare il valore della portata dV_{A1}. Aprire la finestra Settaggi Portata dVA1, selezionare **—> 0 <—** ed assicurarsi che durante questa operazione non circoli aria attraverso lo spirometro.
- Successivamente, avviare la misura più in fretta possibile con **F9** (in modo che l'errore termico che si commette nel misurare la portata sia praticamente trascurabile).
- Respirare regolarmente tre o quattro volte attraverso lo spirometro. Quindi aspirare ed immettere più aria possibile nello spirometro. Infine, respirare ancora regolarmente.
- Arrestare la misura con **F9**.

Valutazione dei risultati

Il volume V_1 di aria emessa è dato dalla differenza tra il valore massimo ed il valore minimo in condizioni di respirazione normale. Il suo valore si può determinare, per esempio, posizionando le linee orizzontali o calcolando direttamente la differenza dalle misure. I risultati ottenuti si possono inserire nel diagramma come testo.

La capacità vitale V_2 si calcola sommando la riserva inspiratoria ed espiratoria con il volume di aria emessa. Si può risalire al volume vitale anche determinando il minimo ed il massimo in corrispondenza della massima inspirazione ed espirazione.

Misura lunga di dati meteo



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Valori riferiti al clima, cioè l'umidità rH_{A1}, la temperatura dell'aria T_{A11} (sensore integrato in quello di umidità), la pressione atmosferica p_{A1} (integrata nel box clima) e l'illuminamento E_{A1} (intensità di luce) possono essere misurati per un lungo intervallo di tempo con CASSY-Display e Sensor-CASSY (cioè senza computer). La tabella con I valori misurati può essere letta e valutata durante la misura o alla fine con un computer ed il software CASSY Lab.

Elenco delle apparecchiature

1	CASSY-Display	524 020
1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box clima	524 057
1	Sensore di umidità	529 057
1	Sensore di luce	666 243
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere disegno)

Il sistema deve essere posto in luogo protetto dove c'è l'alimentazione. In alternativa si può usare come alimentatore un accumulatore da 12 V con capacità sufficiente (> 6 Ah).

Esecuzione dell'esperimento

- **Calibrare** il **sensore di umidità** (richiesto solo per la prima misura).
  Per questo collegare il CASSY Sensor con il box clima direttamente al PC, attivare il box clima in CASSY Lab, selezionare **Corregge**, inserire i quattro numeri stampati sopra da C1 a C4 e confermare con **OK**. Collegare il CASSY-Sensor di nuovo al CASSY-Display.
- **Settaggio e avvio del data logger**
  Se si preme il tasto **START/STOP**, compare nel display in alto"CLR?" (si possono aggiungere nuovi valori) o "CLR!" (non si possono aggiungere nuovi valori) e di default appare "NO" nel display più basso. Ruotando **ADJUST** si può cambiare da "NO" a "YES" e viceversa e confermare premendo **START/STOP**. Dopo si può settare l'intervallo di tempo di acquisizione dati con **ADJUST** e confermare di nuovo con **START/STOP**. Quindi il data logger parte per il conteggio (il LED sotto **START/STOP** ora rimane acceso continuamente).
- **Per osservare I valori misurati nel data logger**
  Se si seleziona **SHOW**, si possono vedere tutti I valori memorizzati sul display con **ADJUST**. Con questa operazione l'attività del data logger viene temporaneamente fermata (il LED sotto **START/STOP** lampeggia). La misura riprende premendo **SHOW** ancora una volta.

- **Per attivare l'operazione risparmio del CASSY-Display**
  E' possibile attivare l'operazione risparmio durante la misura spegnendo il display del CASSY-Display per misure lunghe. Per questo si seleziona il numero 0 su entrambi i display del CASSY con il tasto **NEXT**. I display ed il CASSY-Sensor si spengono. Per ogni nuova misura gli strumenti si accendono per un breve intervallo di tempo.

Valutazione

Per la lettura esterna dei dati collegare il CASSY-Display al computer con il software CASSY Lab. Il CASSY-Display può essere trasportato al computer senza alimentatore (I valori misurati rimangono memorizzati). L'avvio della misura si inserisce nel campo commento automaticamente.

Nell'esempio, viene mostrata una serie di misure del clima ad Hannover dal 15 Dicembre 2000 al 23 Febbraio 2001 con intervalli di misura di mezz'ora.

Il numero massimo di valori dipende dal numero di quantità da misurare. In questo esempio è possibile un totale di circa 5000 linee di valori misurati. Questo corrisponde a un periodo di misura massimo di 100 giorni.

Note

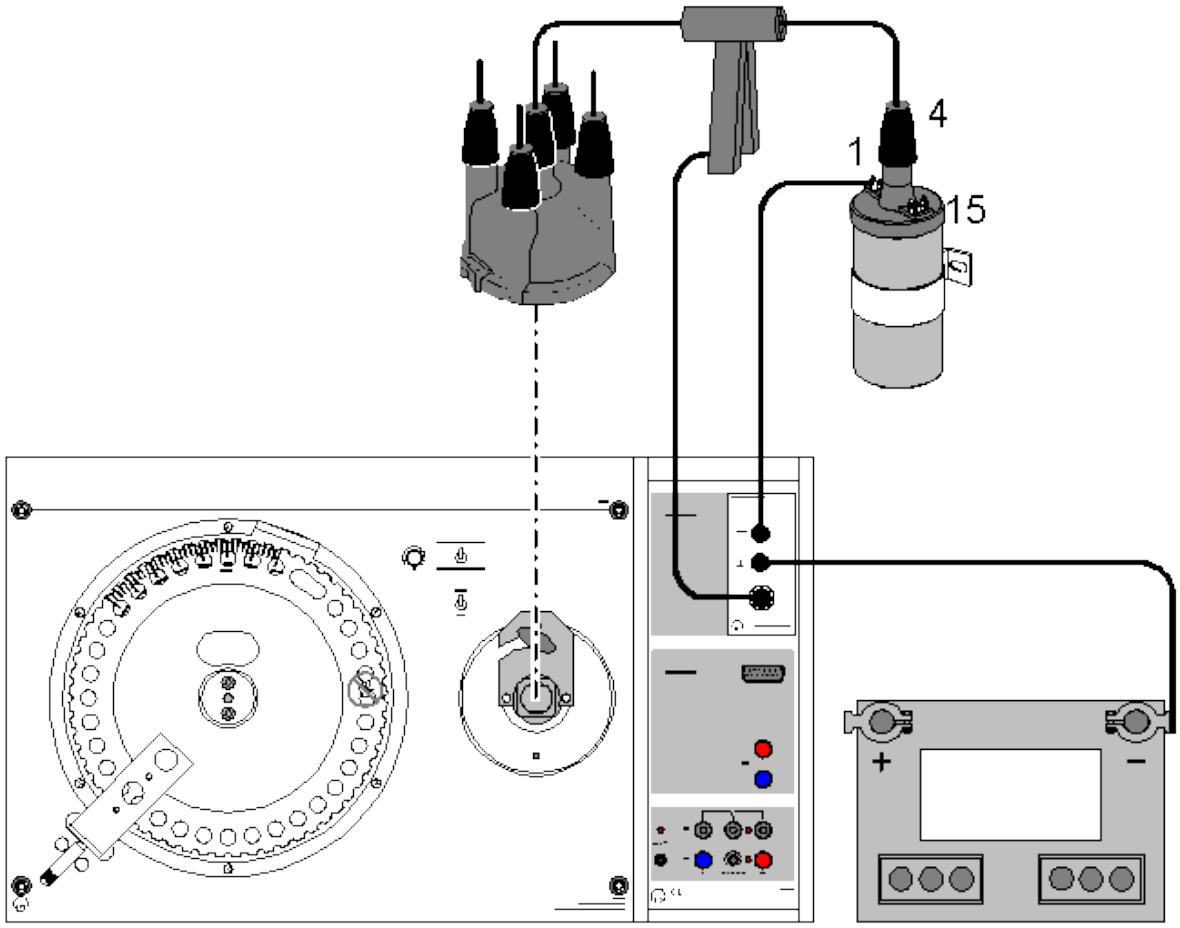
Per essere sicuri di operazioni senza difetti del CASSY-Display, la versione del Firmware deve essere 1.08 o superiore. Se necessario il CASSY-display può essere aggiornato dal CASSY Lab. Una volta fatto questo, tutti i dati misurati memorizzati nel CASSY-Display saranno cancellati.

Esempi di esperimenti di tecnica

Gli esperimenti proposti forniscono un utile supporto per l'uso di CASSY Lab. Se disponibile, viene data la corrispondente etichetta. I dati delle misure o i vari settaggi si possono caricare direttamente da CASSY Lab. È sufficiente cliccare sui pulsanti riportati nella descrizione. I nuovi esperimenti sono indicati con un punto rosso ·.

- T 3.2.4 Autoveicolo – sistemi di accensione
- T 3.2.5 Autoveicolo – sistemi di iniezione
- T 3.2.7.1 Autoveicolo – computer di bordo con radio
- T 3.2.7.5 Autoveicolo – sistema di comfort con CAN bus
- T 3.2.7.5 Autoveicolo – studio dei segnali CAN bus dati
- T 7.2.2.1 Modulazione con codifica ad impulsi (PCM, quantizzazione)
- T 7.4.1 Principi fisici della tecnica delle microonde (caratteristiche dell'oscillatore Gunn)
- T 7.4.2 Guida a piani paralleli (modi TEM e TE)
- T 7.4.3 Propagazione di microonde nelle guide d'onda (misura del rapporto dell'onda stazionaria)
- T 7.6 Tecnica delle antenne
- T 12.5.3 Ingegneria di comando

Autoveicolo – sistemi di accensione



Carica esempio

Note di sicurezza

I sistemi di accensione raggiungono campi di potenza dove nell'intero sistema, cioè. non solo nelle singole unità come bobina di accensione o distributore di accensione, ma anche nei cavi, connettori a spina, connettori dell'apparecchiatura di test, ecc. possono essere presenti tensioni pericolose sia sul secondario che sul primario.

- Inoltre l'accensione deve essere sempre spenta prima di operazioni manuali sui sistemi di accensione!
- Quando l'accensione è accesa, nessuna delle parti in tensione deve essere toccata!
- Fare particolare attenzione ai collegamenti di terra fra i singoli pannelli di lavoro!

Descrizione dell'esperimento

In questo esperimento, vengono registrati gli oscillogrammi dell'accensione e la regolazione dell'angolo di dwell dei distributori meccanici.

Il compito della bobina di accensione è di generare la tensione di accensione di 15000 - 30000 volts richiesti per innescare l'accensione. Nella bobina di accensione interna, c'è un nucleo di ferro dolce con molti avvolgimenti di filo sottile e alcuni avvolgimenti di filo spesso. La trasformazione della tensione è determinato dal rapporto del numero di avvolgimenti.

La bobina primaria (terminale 15) della bobina di accensione è collegata al polo positivo della batteria attraverso la chiave di accensione. Oltre a questo, il collegamento comune della bobina primaria e della secondaria (terminale 1) è collegato a massa quando l'interruttore è chiuso in modo che sia chiuso il circuito primario. Nel successivo periodo dwell è montato il campo magnetico. Questo si scompone quando l'interruttore è aperto e induce un'alta tensione nella bobina secondaria. Questa alta tensione raggiunge la spina della scintilla dal terminale 4 attraverso il cavo dell'alta tensione e il distributore dell'alta tensione.

L'oscillogramma del primario mostra l'evoluzione della tensione nell'avvolgimento del primario. Abilita, per essere determinati gli intervalli di apertura e chiusura dei contatti del ruttore. Da variazioni tipiche nel normale oscillogramma, si possono determinare certi errori nei sistemi di accensione.

L'oscillogramma del secondario di un sistema di accensione mostra l'evoluzione della tensione nelle candela(e). Per la rivelazione di errori è di particolare importanza la tensione di accensione sulla spina di accensione come la tensione di accensione. Da variazioni tipiche nel normale oscillogramma, si possono determinare certi errori nei sistemi di accensione.

Nella misura dell'angolo di dwell, l'angolo a cui il contatto del ruttore è chiuso viene misurato elettronicamente e visualizzato in %. i valori visualizzati possono essere convertiti in gradi di angoli. Il cambio dell'angolo di dwell di un'accensione provocata dal ruttore non deve cambiare più di 2-3 % in un'aumento della velocità fino a circa 4500 1/min. In assenza di ruttore elettronico nei sistemi di accensione, l'angolo di dwell non può essere regolato e può dipendere fortemente dalla velocità.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box auto i	524 076
1	Box auto Z	524 077
1	Sonda di tipo induttivo	738 986
1	Sonda di tipo capacitivo	738 987
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

e una delle apparecchiature seguenti:

T 3.2.4.2 Sistema di accensione con bobina controllata da contatto
T 3.2.4.3 Sistema di accensione con bobina controllata senza ruttore
T 3.2.4.4 Anticipo elettronico della scintilla (caratteristica)
T 3.2.4.5 Sistema di accensione senza distributore (DIS)

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Si può usare uno dei sistemi sopra menzionati, per includere un sistema originale di accensione di un autoveicolo. Fare riferimento alla corrispondente letteratura per ulteriori esperimenti!

Nel caso di un sistema di accensione provocata dal ruttore, la pinza capacitiva permette di registrare tutti e quattro gli impulsi del secondario attraverso la linea di alimentazione per il distributore di accensione. In una DIS, può essere registrato solo un segnale del secondario.

Il lato del primario è collegato al terminale 1 e alla terra. Vedere che la terra sia collegata e chiusa sul terminale 1!

Nota

Se i segnali sono da assegnare ai corrispondenti segnali nei sistemi di accensione innescata dal distributore, è necessario che la pinza di trigger sia collegata al box auto i per CASSY (524 076). Collegare questa pinza al cavo di accensione del primo cilindro. Se si usa questo segnale (E) come segnale di trigger, la registrazione si avvierà sempre con il cilindro 1.

Esecuzione dell'esperimento

a) Registrazione dell'oscillogramma del primario

- Carica settaggi
- Avviare la misura con **F9**
- Cambiare alla **Rappresentazione angolare** per permettere di riferire l'oscillogramma all'angolo dell'albero a gomiti.

b) Registrazione dell'oscillogramma del secondario

- Carica settaggi
- Avviare la misura con **F9**
- Cambiare alla **Rappresentazione angolare** per permettere di riferire l'oscillogramma all'angolo dell'albero a gomiti.

Ricordarsi che le tensioni di accensione delle candele che accendono nello stato non pressurizzato sono sempre più basse che in un motore a circa 10 bar! In aria, la tensione di interruzione delle can-

dele standard e solo circa 3,5 kV. Per questa ragione, l'altezza del pin di accensione può variare da ciclo a ciclo.

c) Registrazione dell'intervallo a contatto chiuso

- Carica settaggi
- Avviare la misura con **F9**
- Aumentare la velocità da 800 a 5000 1/min

Valutazione

Nei files esempio, le misure sono state valutate dal tipo di esempio. Caricare i files esempio, e cambiare su display **Valutazione**. L'intervallo a contatto chiuso è stato misurato per un distributore con anticipo centrifugo. Fino a circa 4500 1/min, l'intervallo a contatto chiuso non cambia. Solo a valori più alti della velocità diminuisce.

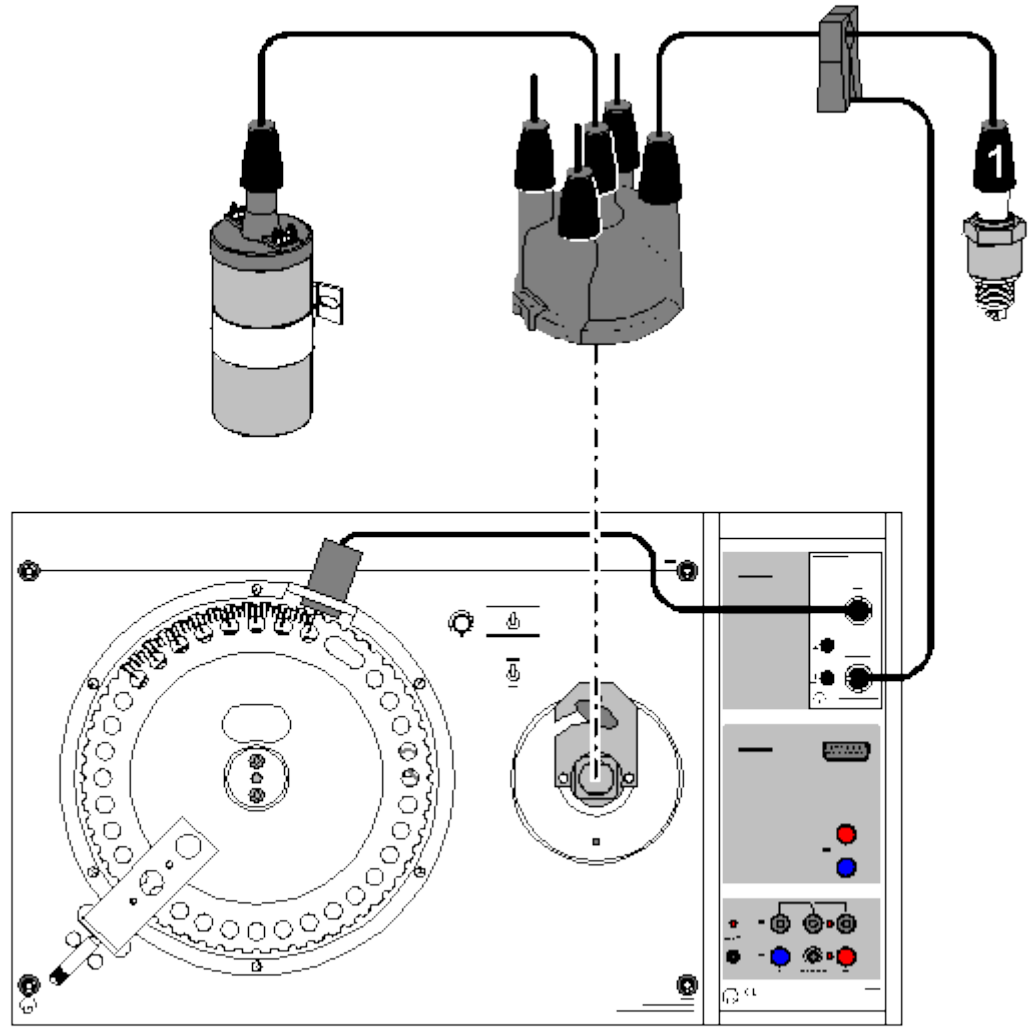
Nota

Far riferimento ai corrispondenti esperimenti sui manuali per altri esperimenti!

Altri files di esempio

- Carica esempio

Autoveicolo – sistemi di iniezione



Carica esempio

Note di sicurezza

I sistemi di accensione raggiungono campi di potenza dove nell'intero sistema, cioè. Non solo nelle singole unità come bobina di accensione o distributore di accensione, ma anche nei cavi, connettori a spina, connettori dell'apparecchiatura di test, ecc. Possono essere presenti tensioni pericolose sia sul secondario che sul primario.

- Inoltre l'accensione deve essere sempre spenta prima di operazioni manuali sui sistemi di accensione!
- Quando l'accensione è accesa, nessuna delle parti in tensione deve essere toccata!
- Fare particolare attenzione ai collegamenti di terra fra i singoli pannelli di lavoro!

Descrizione dell'esperimento

In questo esempio, sono dimostrate le possibilità di base di acquisizione di segnali di quantità rilevanti nei sistemi di iniezione. Questi includono la velocità, il momento di accensione, il tempo e la frequenza di iniezione e il rapporto on/off dei segnali rettangolari.

Elenco delle apparecchiature

2	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box auto i	524 076
1	Sonda induttiva	738 986
1	Rivelatore TDC	738 989

1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista opzionalmente per la regolazione del vuoto:	
1	Sensore di pressione S, ±2000 hPa	524 064
1	Pompa per vuoto	738 996

e una delle seguenti apparecchiature:

T 3.2.5.6 LU-Jetronic
T 3.2.5.7 Motronic
T 3.2.5.10 LH-Motronic M 1.5.4 o 1.5.2
T 3.2.5.11 MONO-Motronic

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Si può usare uno dei sistemi sopra menzionati o un sistema di iniezione di un autoveicolo.

Il segnale di accensione del cilindro 1 è rilevato mediante una pinza di trigger. Il generatore TDC rileva il punto morto superiore del cilindro. Oltre che dalla velocità, il momento di accensione è determinato da questi segnali.

Alle due boccole da 4 mm, si può applicare un segnale rettangolare arbitrario. Le grandezze che si possono valutare sono la frequenza, il rapporto on/off il tempo di funzionamento o il tempo di shut-off. Se si applica il segnale di una valvola di iniezione, la durata dell'iniezione ti è visualizzato in ms.

Per la misura dell'angolo di accensione, vengono registrati il segno dell'albero a gomiti del TDC e il segnale di accensione del cilindro 1. Il tempo fra l'impulso di accensione e l'impulso del generatore TDC è riferito al tempo richiesto da un volano per un giro. Il risultato è visualizzato come angolo di anticipo in gradi dell'angolo dell'albero a gomiti. Il segno per il generatore TDC non è posizionato nel punto morto superiore del cilindro 1, ma 20 gradi in ritardo dell'angolo dell'albero a gomiti! Questo angolo è preso in considerazione automaticamente.

Esecuzione dell'esperimento

a) Anticipo centrifugo

Il meccanismo dell'anticipo centrifugo della distribuzione rotante regola il momento di accensione in funzione della velocità del motore. Con l'aumento della velocità, la **camma** si muove nella direzione di rotazione dell'asse del distributore dell'accensione, per cui il contatto del ruttore è aperto più facilmente. Questo porta a un anticipo nell'accensione. L'anticipo centrifugo può essere determinato solo se sono rimossi i tubi per vuoto!

- Carica settaggi
- Avviare la misura con **F9**
- Portare il campo della velocità da 600 a 6000 1/min

L'anticipo centrifugo produce una rettifica nell'angolo di accensione verso la prima accensione, che aumenta linearmente fino a circa 3000 1/min. Alle velocità più alte, non c'è altro anticipo quando l'anticipo centrifugo è limitato meccanicamente. Se l'anticipo a vuoto deve essere studiato successivamente, i corrispondenti componenti centrifughi possono essere determinati dal diagramma, che deve essere sottratto dall'anticipo a vuoto.

b) Anticipo a vuoto, unità di anticipo

Il meccanismo di anticipo a vuoto regola il momento di accensione in funzione del carico del motore. L'unità del vuoto è collegata alla presa multipla sulla valvola di strozzatura e regola il momento di accensione nel campo a carico ridotto ruotando il **contatto del ruttore** nella direzione opposta alla rotazione dell'albero del distributore di accensione. Questo porta a un anticipo dell'accensione. Questo tipo di unità a vuoto è chiamata "unità di anticipo".

La contribuzione dell'anticipo a vuoto sull'anticipo totale può essere determinato determinando prima la semplice componente centrifuga e poi sottraendola al valore misurato nell'esperimento a vuoto!

- Carica settaggi
- Avviare la misura con **F9**
- Generare un vuoto da 0 a –600 hPa (-600 mbar) a 1000 1/min
- Ripetere la misura per 2000 e 4000 1/min

Senza riferimento della velocità, la regolazione dell'unità di anticipo causa un anticipo di circa 13 gradi dell'angolo dell'albero a gomiti. Per 1000 e 2000 1/min, i campi di anticipo sono uguali dopo la sottrazione della componente centrifuga!

c) Ritardo con vuoto, unità di ritardo

L'unita a vuoto per il ritardo di accensione è collegata alla presa multipolare sotto la valvola di strozzatura poichè in questa posizione c'è un alto vuoto durante inattività e sovraccarico. L'unità di ritardo regola il momento di accensione ruotando il **contatto del ruttore** nella direzione di rotazione dell'albero di rotazione del distributore di accensione. Questo porta a un ritardo nell'accensione. Questo tipo di unità a vuoto è chiamata "unità di ritardo".

Il ritardo di accensione è subordinato all'anticipo di accensione.

La contribuzione del ritardo a vuoto sull'anticipo totale può essere determinato determinando prima la semplice componente centrifuga e poi sottraendola al valore misurato nell'esperimento a vuoto!

- Carica settaggi
- Avviare la misura con **F9**
- Generare un vuoto da 0 a –600 hPa (-600 mbar) a 1000 1/min
- Ripetere la misura per 2000 e 4000 1/min

Senza riferimento della velocità, la regolazione dell'unità di ritardo causa un ritardo di accensione di circa -8 gradi dell'angolo del braccio a gomiti nel campo di pressione da –200 a –400 hPa. Per 1000 e 2000 1/min, i campi di ritardo sono uguali dopo la sottrazione della componente centrifuga!

d) Valvola di iniezione

La funzione delle valvole di iniezione è di fornire benzina a tutti i cilindri (iniezione a singolo punto) o ai singoli cilindri (iniezione multipunto) in funzione del segnale dell'unità di controllo. Normalmente hanno un trigger a 12 V attraverso il cavo di terra. La quantità di combustibile iniettato dipende unicamente dalla durata dell'iniezione come la sezione trasversale dell'apertura e la differenza di pressione fra il tubo dell'iniezione del combustibile e la presa multipla sono tenuti costanti. Un effetto tipico delle valvole a solenoide DC (valvole di iniezione) è l'alta tensione d'induzione nella direzione opposta quando la tensione è spenta.

- Carica settaggi
- Avviare la misura con **F9**
- Aumentare la velocità del motore alla temperature operative e carico del 50 % da inattivo a circa 5000 1/min
- Ripetere la misura per diverse condizioni di carico (17 %, 33 %, 67 %, 83 %)

Come la velocità del motore aumenta con prestazione d'aria costante, la pressione assoluta dietro alla valvola di strozzatura diminuisce, e i cilindri possono produrre meno miscela per salire. Perciò è richiesto meno combustibile, che è ottenuto da un tempo di iniezione più breve. Se la potenza del motore aumenta a velocità costante, la carica del cilindro è maggiore. Questo porta a una maggiore quantità di combustibile e quindi tempi di iniezione più lunghi.

e) Controllo lambda a catena chiusa

Se il contenuto di ossigeno del gas esausto è il 3 % (miscela magra), la differenza relativa al contenuto di ossigeno dell'aria porta a una tensione di 0,1 V. Se il contenuto di ossigeno del gas esausto è minore del 3 % (miscela grassa), la tensione del sensore lambda aumenta relativamente alla differenza aumentata a 0,9 V. C'è una catena di controllo per ogni banco di cilindri, che permette di controllare la composizione della miscela. In funzione della tensione del sensore, la durata dell'iniezione cambia

- Carica settaggi
- Attivare il cambio periodico della tensione lambda
- Avviare la misura con **F9** a 2000 1/min con il motore a temperature di esercizio
- Ripetere la misura per un motore molto freddo e a pieno carico, rispettivamente

Il controllo lambda a catena chiusa lavora in modo che la durata dell'iniezione aumenta nel caso di miscela magra, che porta a una miscela grassa. Nel caso di miscela grassa, la durata dell'iniezione cade, il che porta a una miscela più magra. Il controllo non lavora se il motore è freddo poiché la miscela combustibile-aria deve essere arricchita per compensare le perdite per condensazione nei componenti freddi. La miscela non può funzionare $\lambda = 1$.

A pieno carico, il controllo è anche spento in quanto il motore per funzionare richiede una miscela ricca per raggiungere la massima potenza.

f) Attuatore inattivo rotante

Durante l'iniezione del combustibile, la funzione dell'attuatore rotante è di aprire un canale di derivazione dell'aria intorno alla valvola di strozzatura più o meno per controllare l'operazione inattiva. La percentuale del tempo entro un intervallo di 100 ms, durante il quale il motore elettrico riceve un impulso di corrente di apertura, è chiamato rapporto on/off. E', p. es., 50 % se il motore riceve 12 V per 50 ms e quindi 0 V per altri 50 ms. In questo caso, l'inerzia dell'armatura dovrebbe portare al canale di derivazione essendo aperto per circa il 50 % del tempo.

- Carica settaggi
- Avviare la misura con **F9**

Ridurre la velocità del motore alla temperature di esercizio da 850 a 400 1/min

Ripetere la misura per un motore freddo e con il condizione d'aria acceso

Quando la velocità è diminuita, il rapporto on/off aumenta, come il motore prova ad aumentare la velocità. Se il motore è freddo, il rapporto on/off è aumentato, e l'attrito più alto del motore deve essere superato. Se il condizionatore d'aria è acceso, il motore prova ad aumentare la prestazione dell'aria dell'attuatore rotante per incrementare il rapporto on/off per compensare la caduta nella velocità causata dall'aumento di carico.

g) Sensore di battito

"Battito", una forma non controllata di combustione, può portare a danneggiare il motore. Comunque, come i limiti di battito dipendono da molte grandezze variabili, condizione del motore e condizioni ambientali, una sufficiente distanza dal limite di battito deve essere tenuta nei sistemi di iniezione con regolazione elettronica, che porta a un deterioramento del consumo di combustibile. La distanza della mappa del programma dal limite di battito, che è stato fino ad ora indispensabile, può essere cancellata se un battito durante il funzionamento, p. es. causata dalla scarsa qualità del combustibile, viene rilevata e se l'angolo di accensione viene ridotto di conseguenza. Il controllo di battito permette al motore di funzionare nel limite senza danni.

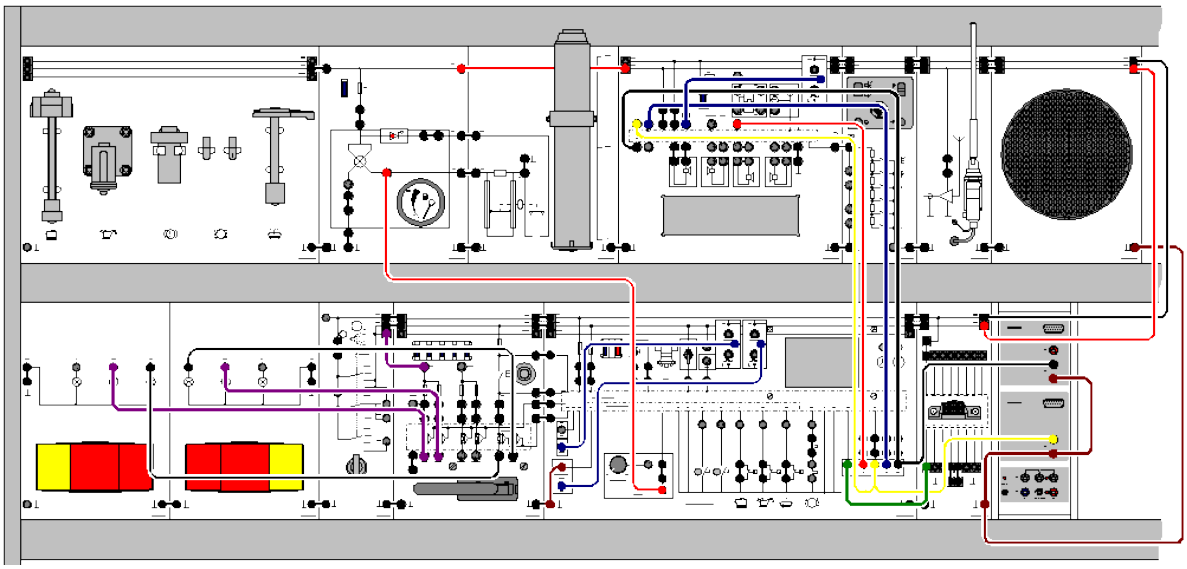
- Carica settaggi
- Avviare la misura con **F9**
- Con il motore alla temperature di esercizio e l'avvio a una velocità di 2500 1/min quasi a pieno carico, colpire leggermente il sensore di battito contro un blocco di metallo

Nel caso di battito di combustione, il circuito di controllo ritarda il momento di accensione del cilindro di battito. Di conseguenza il momento di accensione è riportato indietro al suo valore originale lentamente secondo un particolare schema.

Nota

Far riferimento ai corrispondenti esperimenti sui manuali per altri esperimenti!

Autoveicolo – computer di bordo con radio



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Questo sistema è il multi-info display (MID) della Opel Omega B, modello dell'anno >1994. L' info display è un sistema informativo centralizzato comprendente I seguenti singoli sistemi:

- Orologio
- Computer di bordo
- Check control
- **Parte del display della radio**
- Parte del display della data

L'info display è integrato nell'insieme dello strumento. Questo ha un display a quattro linee. In funzione del modo operativo scelto, viene visualizzata l'informazione sopra menzionata. In questo esperimento, verrà studiata la comunicazione fra la radio ed il display. Questi due componenti comunicano attraverso il così detto bus " I^2C" bus, nel cui bus verrà registrato il segnale.

Per ulteriori informazioni su questo argomento vedere: http://www.standardics.nxp.com/literature/i2c/.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Unità di collegamento alla batteria	738 03
1	Batteria	738 04
	o in alternativa	
	Alimentatore	738 026
1	Interruttore di accensione	738 10
1	MID	739 705
1	Auto radio	739 711
1	Antenna telescopica corta	739 742
1	Altoparlante a larga banda	739 731
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Accessori richiesti

1	Serie di 51 cavi di sicurezza	738 9821
5	Serie di 10 spine a ponte di sicurezza nere	500 59
1	Serie di 10 spine con derivazione	500 592

Realizzazione dell'esperimento

Montare l'esperimento come in figura. Alcuni dispositivi sono opzionali e non sono richiesti per l'esecuzione dell'esperimento! Collegare il Sensor-CASSY alla porta seriale RS232 o alla porta USB del computer. Collegare gli ingressi di misura al montaggio sperimentale come in figura.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Accendere il sistema, prima l'unità di collegamento alla batteria e quindi l'interruttore di accensione.
- Accendere la radio premendo il pulsante del volume.
- Avviare la misura con **F9** o .
- Commutare su della radio per creare un flusso di dati.

Valutazione dell'esperimento

Dai diagrammi si possono ottenere le seguenti analisi:

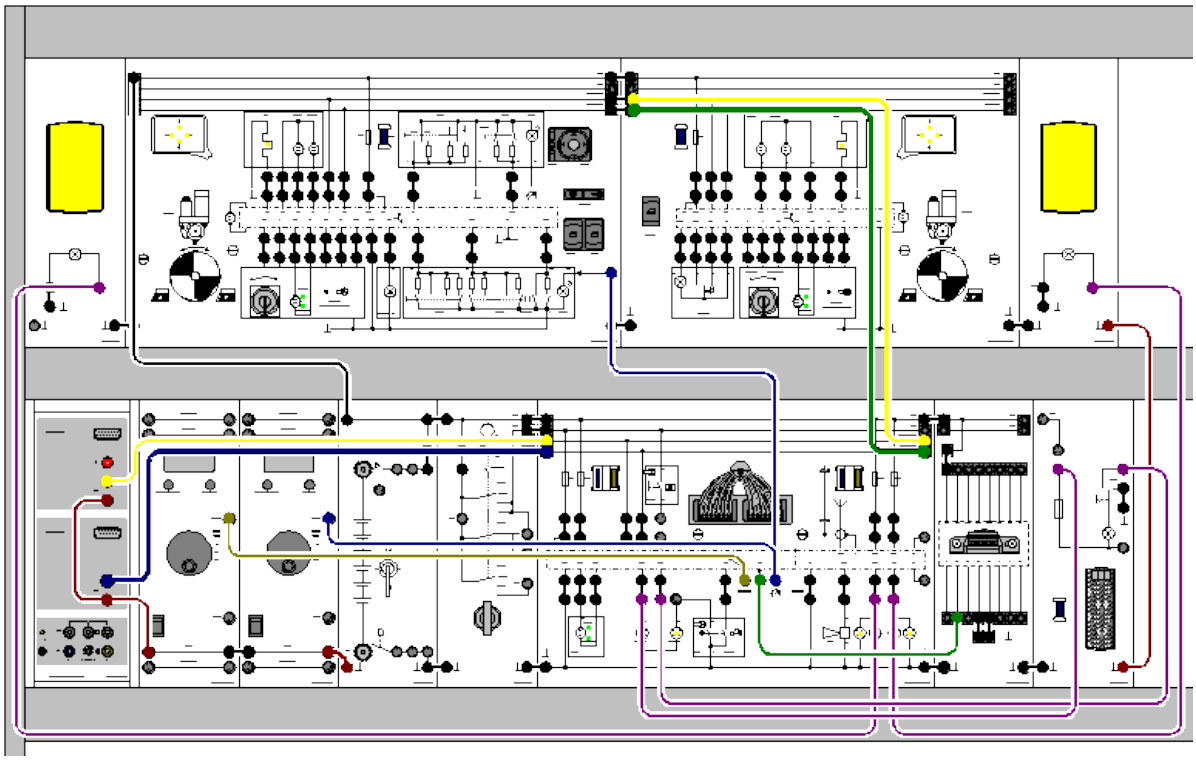
- L'indirizzo del display è: 1 0 0 1 0 1 0
- E' possibile un accesso in scrittura dal display alla radio (bit RW)

Ulteriori variazioni dell'esperimento e le loro valutazioni si trovano sul manuale associato all'esperimento.

Altri esempi di misura

- Carica esempio

Autoveicolo – sistema di comfort con CAN bus



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Il nuovo sistema di comfort è stato inizialmente usato sul modello VW Passat del 1997 ed è stato utilizzato sul modello VW Golf dal 1998. Le singole funzionalità del sistema comfort come il sistema di chiusura centralizzata, il sistema di regolazione dello specchio e il sistema antifurto non sono essenzialmente cambiate. Quello che è nuovo è, comunque, la struttura e l'organizzazione del sistema comfort. Al contrario dei sistemi convenzionali, ha una struttura decentralizzata. Questo vuol dire che le operazioni sono divise fra diverse unità di controllo.

Le unità di controllo del sistema comfort sono collegate l'una all'altra attraverso due linee, il CAN bus dati. Uno scambio dati permanente fra le unità di controllo avviene su queste due linee.

Per questo una unità di controllo:

- fornisce i dati a se stessa,
- invia questi dati ad altre unità di controllo,
- riceve i dati da altre unità di controllo,
- analizza questi dati e, se richiesto, li accetta.

Il sistema è composto di una unità di controllo centrale e di due unità di controllo portiere. L'unità di controllo interno non ha la funzione di livello più alto. Qui non c'è gerarchia fra le unità di controllo. Separatamente dalle sue funzionalità nel sistema di comfort, l'unità di controllo centrale stabilisce il collegamento fra il rimanente sistema elettrico del veicolo e I cavi di diagnostica.

Funzionalità del sistema di controllo centrale:

- Regolazione specchio,
- Controllo luce interna,
- Apertura a distanza del bagagliaio,
- Controllo remoto della radio,
- Sistema antifurto.

Le unità di controllo delle portiere esaminano e controllano le funzionalità del sistema di comfort eseguite sulle portiere.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Unità di collegamento alla batteria	738 03
1	Batteria	738 04
	o in alternativa	
	Alimentatore	738 026
1	Interruttore di accensione	738 10
1	Sistema comfort	739 58
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Accessori richiesti

1	Serie di 51 cavi di sicurezza	738 9821
5	Serie di 10 spine a ponte di sicurezza nere	500 59
1	Serie di 10 spine con derivazione	500 592

Realizzazione dell'esperimento (vedere disegno)

Montare l'esperimento come in figura. Collegare il Sensor-CASSY alla porta seriale RS232 o alla porta USB del computer. Collegare gli ingressi di misura al montaggio sperimentale come in figura.

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Accendere il sistema usando l'unità di collegamento alla batteria.
- Aprire una delle due porte ruotando il corrispondente pulsante nella direzione "OPEN".
- Accendere l'accensione usando il tasto di accensione.
- Avviare la misura con **F9** o .

Valutazione dell'esperimento

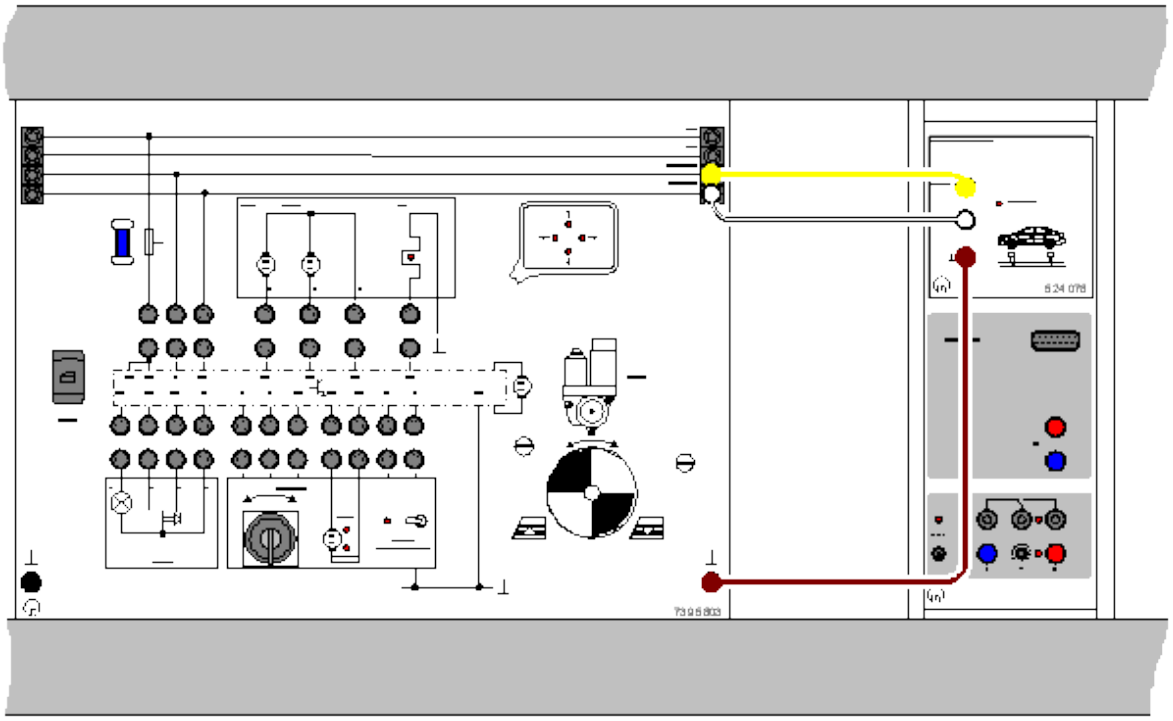
Dai diagrammi si possono ottenere le seguenti analisi:

- I segnali sulle linee CANH e CANL sono reciprocamente invertiti.
- I messaggi sono settati in tre frames con un tempo di ripetizione di 20 ms.
- Due messaggi hanno uguali lunghezze (circa 1,34 ms) e un messaggio è più breve (circa 1 ms). L'ultimo ovviamente riguarda l'unità di controllo dal lato passeggero.

In aggiunta a CANH e CANL, la visualizzazione **Differenza** mostra anche la loro differenza ΔCAN=CANH-CANL, che è definita da una formula.

Ulteriori variazioni dell'esperimento e le loro valutazioni si trovano sul manuale associato all'esperimento 566 1481.

Autoveicolo – studio dei segnali CAN bus dati



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

In questo esempio, è registrato e valutato graficamente un messaggio CAN. Questa registrazione può essere usato per determinare le singole componenti del protocollo. Queste comprendono:

- Bit di start
- Identificatore (incl. RTR)
- Lunghezza del codice (DLC)
- Blocchi di dati
- Totale di controllo (CRC)
- Campo di riconoscimento (ACK)
- Fine del file (EOF)

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Box CAN bus	524 078
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

In aggiunta è richiesta una delle seguenti apparecchiature:

T 3.2.3.7: Illuminazione auto con CAN bus
T 3.2.7.5: Sistema comfort con CAN bus
T 3.2.12.3: Sistemi di trasmissione auto1 (accensione) e
T 3.2.12.5: Sistemi di trasmissione auto 3 (informazioni)

In alternative è, naturalmente, possibile usare i segnali CAN bus di un bus a bassa velocità in un veicolo reale.

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Collegare il box CAN bus a un CAN bus a bassa velocità in ogni posizione. Fare attenzione a stabilire una corretta connessione di terra.

Avendo pratica di officina si può anche collegare il CAN bus di un veicolo disponibile purché sia un bus a bassa velocità. Seguire i diagrammi dei circuiti del fabbricante per accedere ai due cavi del bus, e in aggiunta collegare la boccola di terra alla carrozzeria del veicolo.

Avviso: nei moderni veicoli, i segnali CAN bus possono essere disponibili sul connettore OBD a 16 poli!

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Avviare la misura con **F9**
- La misura viene fermata automaticamente dopo la registrazione del primo messaggio ricevuto.
- La misura può essere ripetuta per altri dati trasmessi. Per fare questo, prima selezionare il corrispondente identificatore nel filtro ID nei Settaggi CANA1 (pulsante destro del mouse o su CAN_{A1}) e riavviare con **F9**.

Valutazione

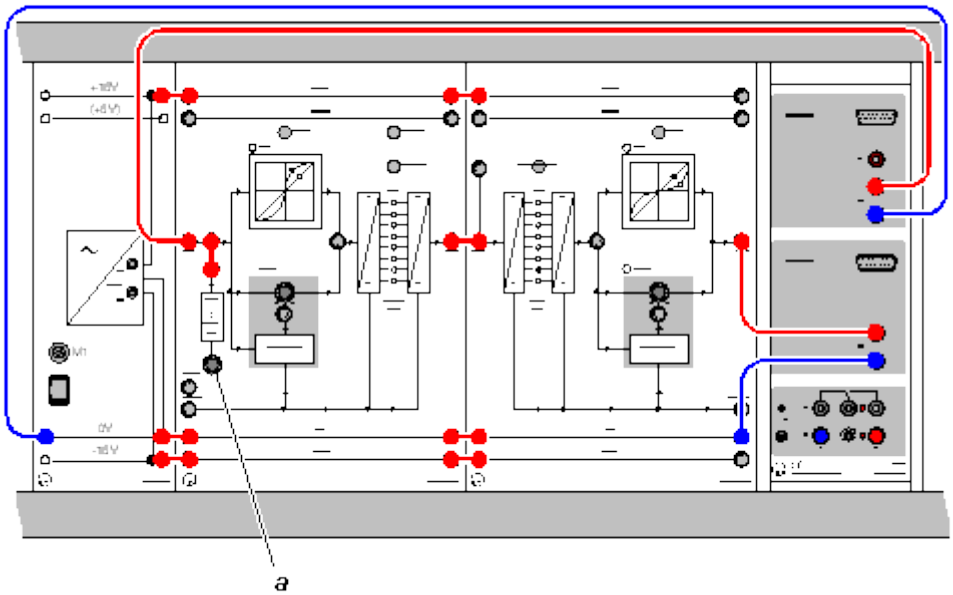
Nel display tutti i messaggi registrati sono prima mostrati come numeri esadecimali. Se ci sono più di due messaggi nel sistema che sono ripetuti ciclicamente, il display mostra questi messaggi uno dopo l'altro. Da sinistra a destra sono visualizzati i seguenti componenti:

- Identificatore
- Codice lunghezza dati
- Blocchi di dati
- Totale di controllo
- Stato del campo di riconoscimento

Le visualizzazioni sono separate l'una dall'altra da un carattere vuoto. In Settaggi CANA1 si possono selezionare anche due differenti modi binari:

- Dati non elaborati, cioè sono contenuti tutti i bits
- Dati binari, cioè tutti i bit sono filtrati

Modulazione con codifica ad impulsi (PCM, quantizzazione)



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

La conversione di un segnale analogico in un segnale digitale richiede 3 fasi:

- Scansione
- Quantizzazione
- Codifica

Ora verrà studiata sperimentalmente la quantizzazione. L'accensione e lo spegnimento dei singoli bit permette di ridurre la risoluzione della quantizzazione e di rappresentare graficamente il processo in modo chiaro. In aggiunta, durante la compressione-espansione vengono registrate le caratteristiche di compressione e di espansione.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Modulatore PCM	736 101
1	Demodulatore PCM	736 111
1	Alimentatore DC ±15 V, 3 A	726 86
1	Serie di 10 spine a ponte	501 511
2	Coppia di cavi, rosso e blu, 100 cm	501 46
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere disegno)

Preparare il montaggio dell'esperimento e cablarlo come indicato sopra e accendere l'alimentatore. Prestare particolare attenzione ai seguenti punti:

- Spegnere I bits cominciando dal LSB (premere i pulsanti SELECT e ON / OFF, vedere sotto).
- Ruotare il potenziometro *a* solo lentamente.
- Nel campo delle piccole tensioni d'ingresso (< –10 V), il convertitore A/D sovrapilotato può portare ad un salto del segnale 0 V —> –9,5 V. Questo non è critico, si può avviare la misura a circa –9,5 V.
- Gli aspetti teorici e sperimentali relativamente a questo argomento sono discussi in modo chiaro nel manuale (vedere T7.2.2.1 Modulazione con codifica ad impulsi 564 004, pagina 52).

Esecuzione dell'esperimento

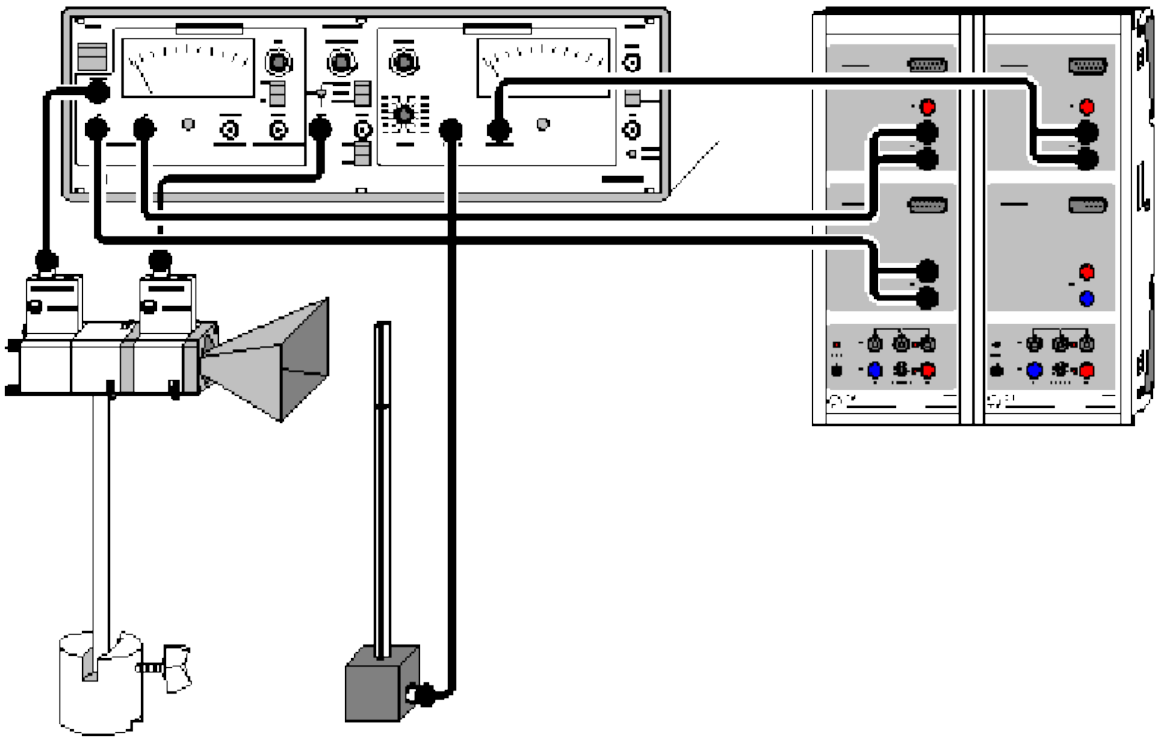
Carica settaggi

- Ruotare il potenziometro tutto a sinistra.
- Avviare la misura con **F9** o .
- Ruotare il potenziometro *a* a destra. Ora c'è una tensione all'ingresso del modulatore PCM (736 101), che aumenta lentamente da –10 V fino a +10 V. Questa tensione d'ingresso è visualizzata come tensione U_{A1}. La tensione di uscita (dopo la quantizzazione) dal demodulatore PCM (736 111) è visualizzata come tensione U_{B1}.
- Dopo la registrazione della caratteristica di quantizzazione, fermare la misura con **F9**.

Variazioni

- Riduzione della risoluzione da 8 a 5 bits.
  Disattivare I 3 bits meno significativi (least significant bits - LSB) del modulatore PCM premendo SELECT e ON/OFF. La posizione del bit richiesto si ottiene premendo ripetutamente SELECT. ON/OFF rende il bit attivo/inattivo. Ruotare il potenziometro *a* indietro a sinistra (tensione d'ingresso minima, circa –10 V) e registrare di nuovo la caratteristica di quantizzazione. Si vedono chiaramente i 32 gradini di **uguale altezza** risultanti dai 5 bits.
- Quantizzazione non lineare
  Premere il pulsante MODE del modulatore PCM e del demodulatore PCM **una volta** ciascuno. Ora entrambi i dispositivi lavorano nel modo di quantizzazione non lineare (in ogni caso ciascuno è indicato da un LED nelle caratteristiche a 13 segmenti). Registrare allora di nuovo la caratteristica.
- Caratteristica di compressione/espansione
  Per la registrazione della caratteristica di compressione/espansione, solo uno dei due dispositivi deve operare nel modo non lineare, mentre l'altro lavora nel modo lineare.

Principi fisici della tecnica delle microonde (caratteristiche dell'oscillatore Gunn)



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Gli oscillatori Gunn consistono di una cavità risonante (= cavità metallica chiusa) e di un elemento Gunn. La caratteristica corrente-tensione $I_G=f(U_G)$ di un elemento Gunn mostra una regione con una rampa negativa. Solo in questa regione della caratteristica l'elemento Gunn riduce lo smorzamento e può bilanciare le perdite nel risonatore in modo da generare una oscillazione permanente e una potenza delle microonde utilizzabile. In questo esperimento, la corrente Gunn I_G e la potenza delle microonde P_M sono visualizzate in funzione della tensione U_G dell'elemento Gunn.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Oscillatore Gunn	737 01
1	Alimentatore Gunn con misuratore SWR	737 021
1	Modulatore PIN	737 05
1	Isolatore	737 06
1	Supporto per componenti a guida d'onda	737 15
1	Grande antenna a tromba	737 21
1	Sonda di campo E	737 35
1	Zoccolo	300 11
3	Cavi BNC, 1 m	501 02
3	Cavi schermati BNC/4 mm	575 24
1	Manuale: Principi fisici delle microonde	568 724
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere disegno)

Preparare il montaggio sperimentale ed il cablaggio come indicato sopra e accendere l'alimentatore Gunn. Prestare particolare attenzione ai seguenti punti:

- I collegamenti fra l'alimentatore e l'oscillatore Gunn e fra il modulatore PIN e la sonda di campo E con cavi BNC maschio/maschio.

- I collegamenti fra l'alimentatore (AMP OUT e RECORDER X,Y, rispettivamente) e il Sensor-CASSY con cavi schermati BNC/4 mm.
- Alimentatore, MODULATION: selezionare PIN INT.
- Selezionare un guadagno adatto sul misuratore SWR (v/dB e ZERO).
- Gli aspetti teorici e sperimentali relativi a questo argomento sono discussi in modo chiaro nel manuale (vedere pagina 11 e sgg).

Nota

Il disegno mostra un montaggio sperimentale con 2 Sensor-CASSY a cascata. Con questo montaggio le caratteristiche $I_G=f(U_G)$ e $P_M=f(U_G)$ vengono registrate simultaneamente. La seconda caratteristica rappresenta la potenza delle microonde dell'oscillatore Gunn in funzione della tensione DC U_G dell'elemento Gunn.

Se è disponibile un solo Sensor-CASSY, l'esperimento deve essere eseguito in due fasi.

Esecuzione dell'esperimento con 2 Sensor-CASSY

- Carica settaggi
- Ruotare il potenziometro U_G tutto a sinistra (U_G = 0 V).
- Avviare la misura con **F9**.
- Ruotare il potenziometro U_G a destra. La tensione Gunn, la corrente Gunn e la potenza delle microonde vengono visualizzate sul display dello strumento dedicato.
- Dopo la registrazione delle due caratteristiche $I_G=f(U_G)$ e $P_M=f(U_G)$, fermare la misura con **F9**.

Esecuzione dell'esperimento con 1 Sensor-CASSY

- Carica settaggi
- Ruotare il potenziometro U_G tutto a sinistra (U_G = 0 V).
- Avviare la misura con **F9**.
- Ruoare il potenziometro U_G a destra. La tensione Gunn, la corrente Gunn e la potenza delle microonde vengono visualizzate sul display dello strumento dedicato.
- Dopo la registrazione della caratteristica $I_G=f(U_G)$, fermare la misura con **F9**.

La seconda caratteristica $P_M=f(U_G)$ viene registrata successivamente con lo stesso Sensor-CASSY e gli stessi settaggi. Pertanto la potenza relativa alle microonde viene visualizzata nel display dello strumento della corrente Gunn. Per questo:

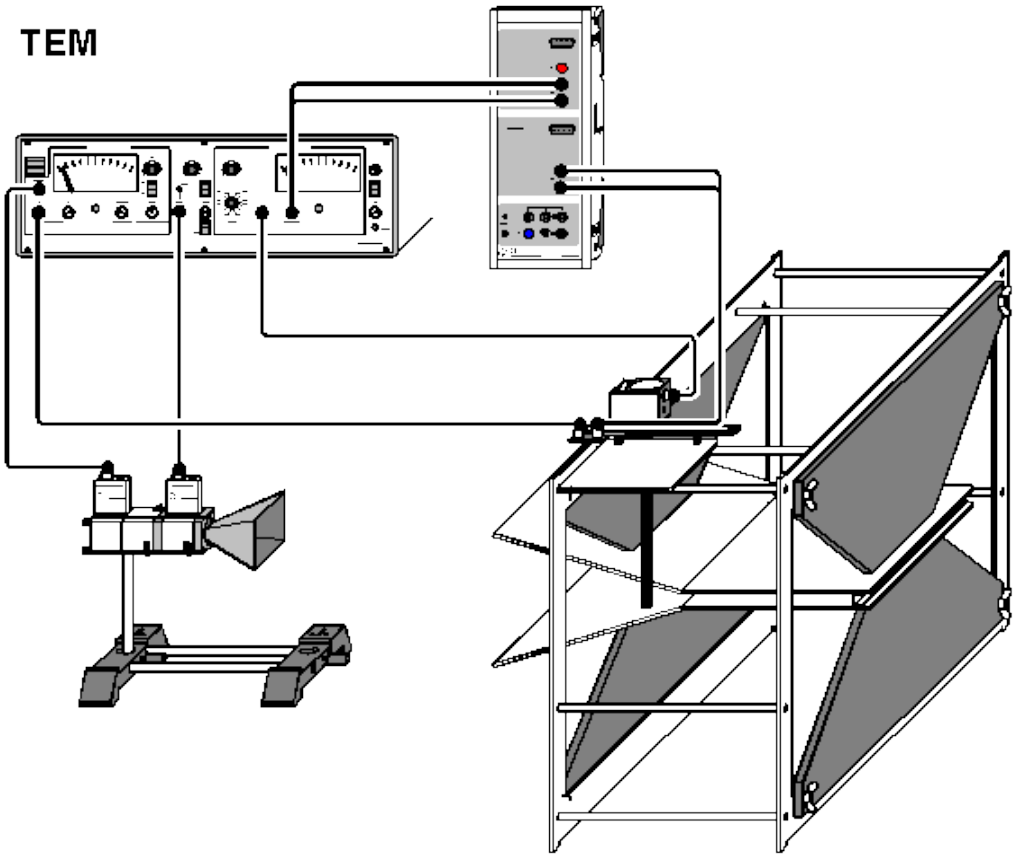
- Disconnettere il Sensor-CASSY dall'alimentatore Gunn (RECORDER Y) e collegarlo a AMP OUT.
- Selezionare un guadagno adatto sul misuratore SWR (v/dB e ZERO).
- Registrare di nuovo la caratteristica.

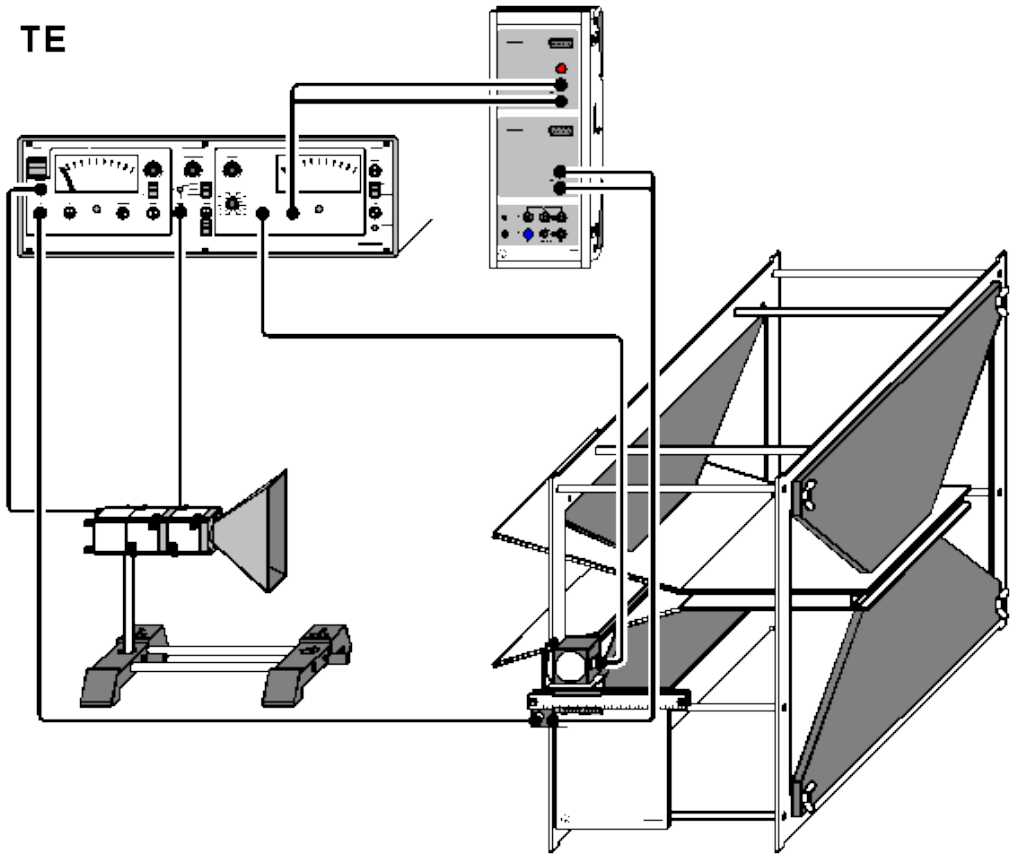
Note

Le caratteristiche degli elementi attivi negli esperimenti con le microonde presentano una larga dispersione. Pertanto le caratteristiche mostrate negli esempi sono solo da considerare come esempi. La cosa importante è il collegamento fra la regione di caduta della caratteristica corrente-tensione e la generazione della potenza delle microonde. I valori assoluti o a forma delle curve possono variare considerevolmente, in funzione dell'elemento Gunn usato.

La misure della potenza P_M delle microonde è fatta con un rilevatore non calibrato. Pertanto il suo valore numerico è arbitrario.

Guida a piani paralleli (modi TEM e TE)





Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Le onde TEM o TE possono essere eccitate in una guida a piani paralleli ruotando la direzione di polarizzazione del campo di eccitazione delle microonde (fare attenzione a questo nell'esperimento!) . Le onde TE presentano un fenomeno di cut-off, cioè per una data frequenza del campo eccitante, le onde TE si possono propagare solo se la distanza dei piani supera un certo valore minimo. Nel caso di una eccitazione con una frequenza variabile e una distanza fissa dei piani, le onde TE non si possono propagare se la frequenza è al di sotto della frequenza chiamata di cut-off. Gli esperimenti con microonde nello spazio libero sono permessi solo a certe frequenze fisse, questo esperimento viene eseguito con piani a distanza variabile.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Oscillatore Gunn	737 01
1	Alimentatore Gunn con misuratore SWR	737 021
1	Modulatore PIN	737 05
1	Isolatore	737 06
1	Guida d'onda a due piani	737 07
1	Supporto per le misure nella guida a p.p.	737 071
1	Supporto per componenti a guida d'onda	737 15
1	Grande antenna a tromba	737 21
1	Sonda di campo E	737 35
2	Cavi BNC, 1 m	501 02
2	Cavi BNC, 2 m	501 022
2	Cavi schermati BNC/4 mm	575 24
2	Basi di sostegno MF	301 21
1	Manuale: Linea a piani paralleli	568 664
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento TEM o TE (vedere disegno TEM o TE)

Preparare il montaggio sperimentale ed il cablaggio come indicato sopra e accendere l'alimentatore Gunn. Prestare particolare attenzione ai seguenti punti:

- I collegamenti dall'alimentatore all'oscillatore Gunn, al modulatore PIN e al supporto per le misure nella guida a piani paralleli (Ingresso IN 8-24 V) con cavi BNC maschio/maschio.
- I collegamenti dall'alimentatore (AMP OUT) e dal supporto per le misure nella guida a piani paralleli (uscita X) al Sensor-CASSY con cavi schermati BNC/4 mm.
- Regolare la tensione Gunn U_G = 10 V sull'alimentatore.
- Alimentatore, MODULATION: selezionare PIN INT.
- Porre il supporto per le misure nella guida a piani paralleli nel sostegno della guida a piani paralleli in modo che la sonda di campo E arrivi giusto nella parte parallela dei due piani della guida d'onda quando è bloccata sulla sinistra.
- La sonda di campo E dovrebbe sempre essere a contatto meccanico del bordo del piano quando viene mossa perchè questo aiuta ad evitare variazioni nella posizione.
- Uno dopo l'altro terminare le guide d'onda a due piani con i profili di terminazione da 13 mm e 22 mm.
- Per note aggiuntive vedere le istruzioni per l'uso 737 07 e 737 071.
- Gli aspetti teorici e sperimentali relativi a questo argomento sono discussi in modo chiaro nel manuale (vedere pagina 27).

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Portare a destra il calibro del supporto di misura (737 071) (x = 75 mm).
- Usare il mouse per prendere il valore numerico della tensione visualizzata U_{B1} nel display dello strumento della tensione U_{75} (trascina & incolla, punto di calibrazione corretto per la misura della posizione).
- Portare a sinistra il calibro del supporto di misura (737 071) (x = 25 mm).

- Usare il mouse per prendere il valore numerico della tensione visualizzata U_{B1} nel display dello strumento della tensione U_{25} (trascina & incolla, punto di calibrazione corretto per la misura della posizione)
- Portare il calibro a sinistra (x = 0 mm).
- Avviare la misura con **F9**.
- Muovere lentamente il calibro a destra.
- Si può regolare di nuovo v/dB e / o ZERO fino a risultare il segnale di misura desiderato. Mantenere I settaggi per I successive esperimenti!
- Dopo aver registrato il campo in funzione dello spostamento, fermare la misura con **F9**.

Valutazione della lunghezza d'onda

La lunghezza d'onda λ_g=B nella guida a piani paralleli e il rapporto d'onda stazionaria SWR=C possono essere calcolati direttamente dai risultati di misura con un fit libero e la formula che descrive la dipendenza del campo elettrico E da x,

A*sqr(cos(360/B*x+D)^2+1/C^2*sin(360/B*x+D)^2)

o, in notazione tecnica,

$$A \cdot \sqrt{\left[\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_g} \cdot x + \varphi\right)\right]^2 + \frac{1}{SWR^2}\left[\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda_g} \cdot x + \varphi\right)\right]^2}$$

con

A: ampiezza dell'intensità del campo elettrico
λ_g: lunghezza della guida d'onda
SWR: rapporto d'onda stazionaria
φ: sfasamento

(vedere anche l'esperimento Misura del rapporto d'onda stazionaria).

I valori iniziali, in particolare per la lunghezza d'onda λ_g=B e il rapporto d'onda stazionaria SWR=C, devono essere scelti in modo ragionevole altrimenti con il fit libero non si avrà alcun risultato o non si troverà il miglior risultato. Una curva di fit può essere tolta con un doppio clic sulla curva. Quindi il fit può essere ripetuto con altri valori iniziali.

I valori iniziali inseriti dovrebbero essere λ_g=B=32 mm (lunghezza d'onda nello spazio libero) per il modo TEM, λ_g=B=45 mm (lunghezza d'onda nella guida d'onda) per il modo TE, e SWR=C=10 per il rapporto d'onda stazionaria.

Valutazione del cut-off (taglio)

Se la distanza dei piani è troppo piccola nel montaggio TE con 13 mm, il modo TE non può essere eccitato di più (cut-off). La forma esponenziale del campo può essere approssimata con un fit libero e la formula

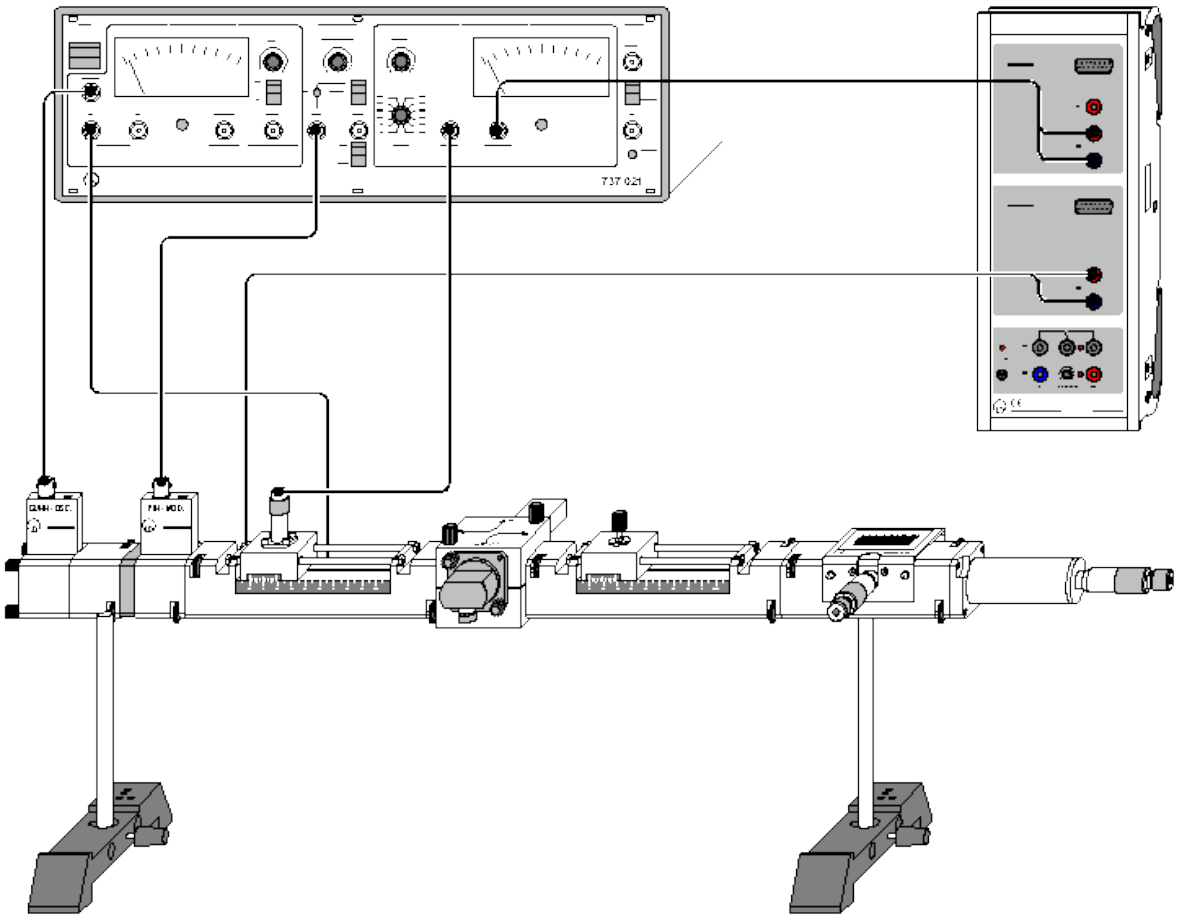
A*exp(-x/B)+C.

Inserire approssimativamente 10 mm come valore iniziale per B.

Nota

La tensione misurata U_{A1} è proporzionale alla potenza delle microonde. Supponendo che la caratteristica del rilevatore coassiale è quadratica, questa tensione può essere convertita nell'intensità del campo elettrico $E \propto \text{sqr } U_{A1}$. Con la caratteristica del rilevatore non calibrata, il valore numerico di E è arbitrario.

Propagazione di microonde nelle guide d'onda (misura del rapporto dell'onda stazionaria)



Carica esempio

Descrizione dell'esperimento

Il rapporto d'onda stazionaria (SWR) è una misura scalare dell'adattamento. In esperimenti con microonde, determina il trasferimento di potenza dalla sorgente al carico e la grandezza dell'intensità del campo nei componenti del circuito. Pertanto un SWR di circa 1 è desiderato in molti casi. In questo esperimento, vengono confrontati i rapporti d'onda stazionaria di varie terminazioni di guide d'onda. Un attenuatore variabile (altera la grandezza delle riflessioni) e un corto circuito mobile (altera la fase delle riflessioni) vengono usati in un collegamento in serie a un carico di microonde complesso. Per il caso di un rapporto d'onda stazionaria medio (SWR circa 3), l'adattamento è corretto con un trasformatore a vite mobile.

Elenco delle apparecchiature

1	Sensor-CASSY	524 010
1	CASSY Lab	524 200
1	Oscillatore Gunn	737 01
1	Rilevatore coassiale	737 03
1	Adattatore guida d'onda / coassiale	737 035
1	Alimentatore Gunn con misuratore SWR	737 021
1	Modulatore PIN	737 05
1	Isolatore	737 06
1	Attenuatore variabile	737 09
1	Corto circuito mobile	737 10
1	Linea di misura fessurata	737 111
1	Trasformatore a vite mobile	737 13
1	Terminazione per guida d'onda	737 14

1	Accoppiatore trasversale	737 18
2	Supporti per componenti a guida d'onda	737 15
4	Cavi BNC, 1 m	501 02
2	Cavi schermati BNC/4 mm	575 24
2	Base di sostegno MF	301 21
1	Manuale: Propagazione delle microonde	568 731
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere disegno)

Preparare il montaggio sperimentale ed il cablaggio come indicato sopra e accendere l'alimentatore Gunn. Prestare particolare attenzione ai seguenti punti:

- I collegamenti dall'alimentatore all'oscillatore Gunn, al modulatore PIN e alla linea di misura fessurata (INPUT) con cavi BNC maschio/maschio.
- I collegamenti dall'alimentatore (AMP OUT) e dal supporto per le misure nella guida a piani paralleli (uscita X) al Sensor-CASSY con cavi schermati BNC/4 mm.
- Regolare la tensione Gunn U_G = 10 V sull'alimentatore.
- Alimentatore, MODULATION: selezionare PIN INT.
- Collegare INPUT della linea di misura fessurata a RECORDER X dell'alimentatore.
- Montare l'accoppiatore trasversale con due fori trasversali. Porta 1 alla linea di misura fessurata. Porta 2 al trasformatore a vite mobile. Porta 3 all'adattatore guida d'onda / coax. Porta 4 alla terminazione per guida d'onda.
- Ruotare la vite del trasformatore a vite mobile lontano dalla guida d'onda. Posizione corta del cursore arbitraria.
- Gli aspetti teorici e sperimentali relativi a questo argomento sono discussi in modo chiaro nel manuale (vedere pagina 27e sgg).

Esecuzione dell'esperimento

- Carica settaggi
- Portare a destra il calibro del supporto di misura (737 071) (x = 75 mm).
- Usare il mouse per prendere il valore numerico della tensione visualizzata U_{B1} nel display dello strumento della tensione U_{75} (trascina & incolla, punto di calibrazione corretto per la misura della posizione).
- Portare a sinistra il calibro del supporto di misura (737 071) (x = 25 mm).
- Usare il mouse per prendere il valore numerico della tensione visualizzata U_{B1} nel display dello strumento della tensione U_{25} (trascina & incolla, punto di calibrazione corretto per la misura della posizione)
- Portare il calibro a sinistra (x = 0 mm).
- Regolare l'attenuatore a 0 dB.
- Avviare la misura con **F9**.
- Muovere lentamente il calibro a destra.
- Si può regolare di nuovo v/dB e / o ZERO fino a risultare il segnale di misura desiderato. Mantenere i settaggi per i successivi esperimenti!
- Dopo aver registrato il campo in funzione dello spostamento, fermare la misura con **F9**.

Valutazione

La lunghezza d'onda λ_g=B nella guida d'onda e il rapporto d'onda stazionaria SWR=C possono essere calcolati direttamente dai risultati di misura con un fit libero e la formula che descrive la dipendenza del campo elettrico E da x,

A*sqr(cos(360/B*x+D)^2+1/C^2*sin(360/B*x+D)^2)

o, in notazione tecnica,

$$A \cdot \sqrt{\left[\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_g} \cdot x + \varphi\right)\right]^2 + \frac{1}{SWR^2}\left[\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda_g} \cdot x + \varphi\right)\right]^2}$$

con

A: ampiezza dell'intensità del campo elettrico
λ_g: lunghezza d'onda della guida d'onda

SWR: rapporto d'onda stazionaria
φ: sfasamento.

I valori iniziali, in particolare per la lunghezza d'onda λ_g=B e il rapporto d'onda stazionaria SWR=C, devono essere scelti in modo ragionevole (nel caso di B=45 mm e C=10) altrimenti con il fit libero non si avrà alcun risultato o non si troverà il miglior risultato. Una curva di fit può essere tolta con un doppio clic sulla curva. Quindi il fit può essere ripetuto con altri valori iniziali.

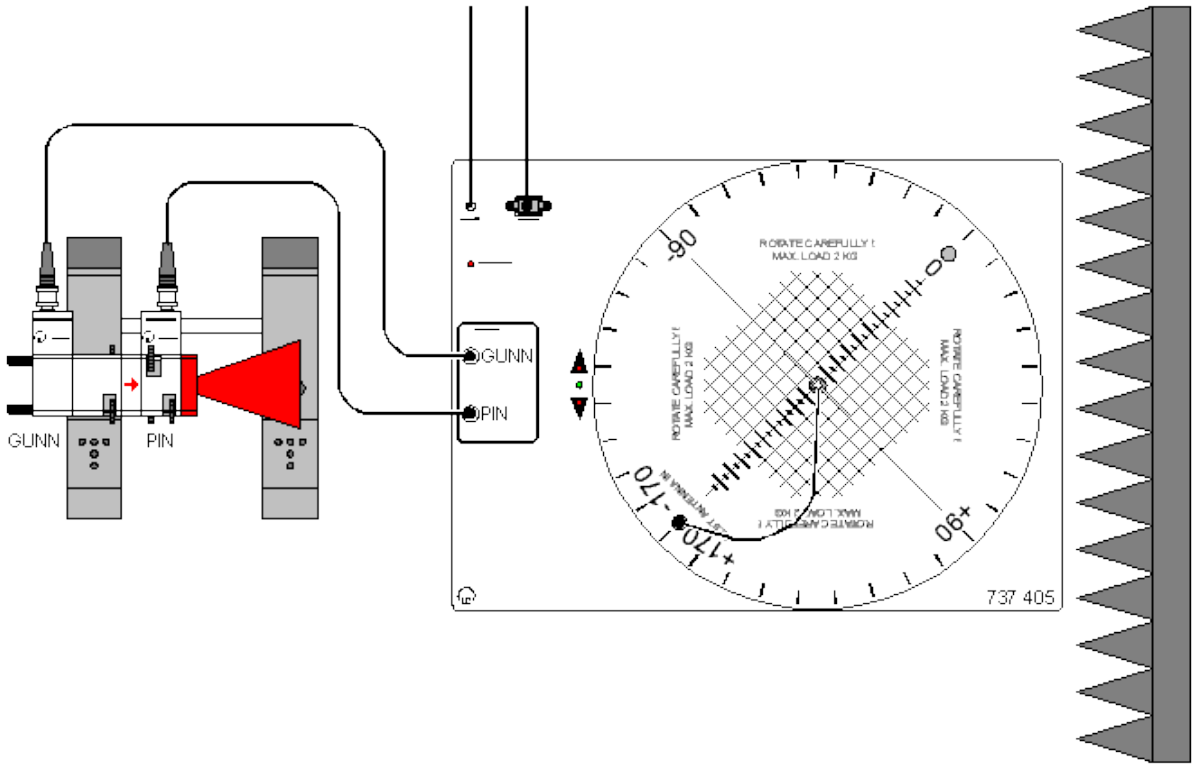
Variazioni

- Registrazione del rapporto d'onda stazionaria per riflessione ridotta. Il SWR è diminuito con la regolazione dell'attenuatore (a > 0 dB).
- Migliorare l'adattamento con l'aiuto del trasformatore a vite mobile.
- Selezionare a=3 dB sull'attenuatore. Ora solo il 25 % della potenza iniziale delle microonde viene riflessa. Il coefficiente di riflessione è r=0,5 e il SWR è 3.
- Fare una nuova misura per verificare il cambiamento.
- Avvitare il rilevatore cossiale sulla transizione guida d'onda / coax. Ra solo il segnale riflesso viene misurato.
- Cambiare la profondità di penetrazione e la posizione della vite di regolazione sul trasformatore a vite mobile, e ridurre il segnale riflesso al suo minimo.
- Avvitare il rilevatore coassiale di nuovo sulla linea di misura fessurata, e misurare una nuova curva SWR.

Nota

La tensione misurata U_{A1} è proporzionale alla potenza delle microonde. Supponendo che la caratteristica del rilevatore coassiale è quadratica, questa tensione può essere convertita nell'intensità del campo elettrico $E \propto \text{sqr } U_{A1}$. Con la caratteristica del rilevatore non calibrata, il valore numerico di E è arbitrario.

Tecnica delle antenne



Carica esempio

Note di sicurezza

La bassa potenza dell'oscillatore Gunn (circa 10 mW), non può arrecare danni allo sperimentatore durante le misure con le antenne. Comunque, se si utilizzano sorgenti HF di potenza più elevata, seguire alcune norme di sicurezza.

- In qualsiasi circostanza evitare di "guardare" direttamente nella tramittente quando irradia. Questo vale anche per i terminali liberi delle guide d'onda e nelle antenne a tromba.
- Quando vengono scambiati le guide d'onda nel cambiare la configurazione del sistema, l'alimentazione dell'oscillatore Gunn deve essere spenta.

Descrizione dell'esperimento

Le antenne servono per trasmettere o ricevere onde elettromagnetiche. Esse permettono di convertire un'onda guidata in un'onda spaziale. In altre parole l'antenna è un dispositivo che interfaccia la linea di trasmissione con lo spazio libero. Le caratteristiche di radiazione di un'antenna sono di particolare interesse. Queste possono variare considerevolmente, in dipendenza dal tipo di applicazione: radiodiffusione, trasmissione di microonde o radar. Un tipo di antenna a larga diffusione è data p. es. da antenne ad alta direttività.

Qui è spiegato l'uso della stazione di misura per antenne T 7.6.1 in unione con la piattaforma rotante per antenna (737 405). Una antenna a dipolo λ/2 serve ad esempio di come registrare un diagramma direzionale. I lettori interessati a misure con altre antenne (dalla serie T 7.6.2 a T 7.6.5) possono fare riferimento al manuale sperimentale T 7.6 Tecnica delle antenne (568 702). Informazioni aggiuntive possono ottenere dalla scheda d'uso 737 405.

Elenco delle apparecchiature

1	Piattaforma rotante per antenne	737 405
1	Oscillatore Gunn	737 01
1	Isolatore (raccomandato)	737 06
1	Modulatore PIN (raccomandato)	737 05
1	Grande antenna a tromba	737 21
2	Supporto di base MF	301 21

1	Serie di assorbitori	737 390
1	Kit per antenna a dipolo	737 411
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Realizzazione dell'esperimento (vedere figura)

Montare l'esperimento come mostrato in figura. Usare l'asta di sostegno da 345 mm fornita con la piattaforma rotante per il posizionamento del trasmettitore (componenti a microonde). Per ulteriori informazioni vedere la scheda d'uso 737 405. Normalmente, la distanza r_0 fra il trasmettitore e l'antenna in esame dovrebbe soddisfare la condizione di campo lontano. Per le antenne a dipolo questo è settato in molti casi per $r_0 > 100$ cm. Il calcolo del campo lontano in Settaggio di A determina la distanza minima r_0 per la transizione al campo lontano dopo l'inserimento di D_T.

Inserire l'asta di sostegno con l'antenna campione (dipolo $\lambda/2$) nel foro centrale della piattaforma rotante in modo che si trovi sull'asse di rotazione. Collegare la boccola NBC di uscita dell'antenna campione alla boccola BNC "TEST ANTENNA IN" sulla piattaforma con un cavo coassiale. Allineare l'antenna in modo che il suo centro sia in linea con la posizione 0°. Accendere la piattaforma rotante collegando l'unità a spina. Il piatto rotante si porta sulla posizione di partenza -180°.

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Se non è già stato fatto, selezionare la piattaforma rotante come dispositivo collegato. Per far questo collegare la piattaforma rotante per antenne alla porta seriale desiderata in Settaggio generale. Quindi con **Salva nuovo Defaults** salvare la configurazione.
- Se necessario cambiare il settaggio della piattaforma rotante per antenne in Settaggio A. Se si usa l'antenna a dipolo, deve essere attivata la corrente di bias. Se non è disponibile il modulatore PIN, bisogna commutare su modulazione Gunn.
- Avviare la misura con **F9** (orologio)**.** Dopo un breve intervallo, il piano rotante inizia ad avanzare fino al punto dal quale inizierà la misura del diagramma direzionale. Subito dopo aver raggiunto l'angolo finale settato, il patto rotante inizia il ritorno verso la posizione di partenza.
- Normalizza A(ϑ) con **Normalizza Livello** in Settaggi A così che è 1 al massimo.

Valutazione dei risultati

L'esempio di misura mostra il diagramma direzionale orizzontale di un dipolo $\lambda/2$. In Settaggi A il Massimo della curva misurata è stato ruotato a 0°. La curva nera rappresenta la curva misurata mentre il diagramma direzionale teorico è dato dalla curva rossa. La curva teorica si può ottenere con un Fit libero (vedere sotto).

Note

- L'asse di simmetria dell'antenna test e il centro del piatto rotante devono essere in linea. Questo normalmente si verifica se l'antenna viene montata nel centro del piatto rotante. Comunque, vi sono antenne che vengono montate su del materiale di sostegno. In questo caso l'antenna deve essere allineata nel centro del piatto rotante in modo che durante il moto non ci siano fenomeni di eccentricità. (Questi produrrebbero delle asimmetrie nei diagrammi direzionali).
- Se il lobo principale dell'antenna è posizionato su 0° nel diagramma direzionale, l'antenna è stata allineata in modo che la direzione del suo raggio principale è allineata con di 0°, oltre ad essere allineata con l'antenna trasmittente. Questo significa che la sua "parte posteriore" "esamina" l'antenna sorgente esistente. Il motivo di ciò è nella natura del processo. La direzione del raggio principale è così misurata in una corsa invece che in due metà. Le influenze ambientali sul sistema hanno in questo modo meno effetto su una regione importante del lobo principale.
- In funzione del tipo di antenna, la misura può essere fatta a diversi gradi di risoluzione. Antenne complicate con molti lobi o strette devono essere misurate in alta risoluzione.
- Il processo di misura può essere osservato simultaneamente sugli strumenti di misura (p. es per l'angolo, la tensione e il livello), che possono essere inseriti/esclusi, e sul display grafico, il diagramma direzionale è costruito passo passo (Coordinate cartesiane o diagramma polare con asse selezionabili liberamente). La scala di misura può essere spostata con il pulsante sinistro del mouse e può essere cambiata con il pulsante destro.
- Il segnale A dell'antenna può essere misurato direttamente dal rivelatore. E' misurabile solo la caduta di tensione U provocata dalla corrente del rilevatore nell'amplificatore di misura. In generale U non è proporzionale ad A ma

$$U \propto A^m$$

L'esponente m descrive la caratteristica del rilevatore. Se il segnale di antenna A(ϑ) è normalizzato con **Normalizza Livello** in Settaggi A così che è 1 nel massimo, si ha:

$$A = \left(\frac{U}{U_{max}}\right)^{\frac{1}{m}}$$

$$a = 20 \cdot \log(A)$$

dove U_{max} è la tensione massima U misurata.
L'esponente m dipende dalla potenza delle microonde entranti. Nel campo della bassa potenza è m=2, cioè.

$$U \propto A^2$$

L'esperienza ha mostrato che il comportamento quadratico assunto si applica solo con microonde di potenza molto bassa o con tensioni ricevute U < 5 mV. Comunque, il sistema di misura per antenne permette di inserire alter caratteristiche del rilevatore. Per l'esattezza, la caratteristica selezionata deve essere controllata. Per questo è richiesto un attenuatore variabile (737 09) che abilita il segnale d'antenna di fronte al rilevatore per essere attenuato in modo ben definito.

Altri esempi di misure

Misure con modulatore PIN e isolatore

Carica esempio

Misure senza modulatore PIN, con modulazione diretta del Gunn

Carica esempio

Formule nei diagrammi direzionali

I risultati di misura possono essere confrontati con I diagrammi direzionali teorici se è disponibile una formula adeguata o può essere ricavata. Le formule possono essere usate in vari modi.

- La formula può essere definite come una nuova quantità. Allora tutti i parametri della Formula devono essere inseriti esplicitamente.
- La formula può essere inserita per eseguire un Fit libero. In questo case si variano automaticamente fino a 4 parametri della formula in modo da ottenere la migliore concordanza fra I risultati di misura e la formula. Il metodo è molto elegante nel caso di misure di antenna e verrà spiegato brevemente nei paragrafi seguenti.

Fit libero per diagrammi direzionali

Dopo aver eseguito la misura con la piattaforma per antenna rotante, sono richiesti i passi seguenti per effettuare un Fit libero:

- Selezionare la rappresentazione Cartesiana (Cambia assegnazione assi nel diagramma con il pulsante destro del mouse e disabilita la selezione **Polare** sotto l'asse x)
- Selezionare Fit libero (fare click su Funzioni di adattamento nel diagramma con il pulsante destro del mouse e selezionare Adattamento libero)
- Inserire la formula nel campo di inserimento, selezionarla dall'elenco, o copiarla dalla clipboard (con copia e incolla, p.es. gli esempi sotto) avendo contrassegnato la formula.
- Avendo valutato dei ragionevoli valori di inizio per A, B, C e D (vedere esempio sotto), inserirli.
- Segnare il risultato come un nuovo canale (parametro). Questo genera una nuova colonna nella tabella quando la valutazione avviene con I valori calcolati del diagramma direzionale teorico.
- Selezionare **Seleziona campo**, ed evidenzia l'intera curva di misura con il tasto sinistro del mouse. Quando il fitting è eseguito, e la migliore approssimazione della formula trovata viene visualizzata nella procedura di fitting.
- Selezionare la rappresentazione polare (Cambia assegnazione assi nel diagramma con il tasto destro del mouse e ripristina la selezione **Polare** sotto l'asse delle x)

Esempi

Nota: le formule date nei seguenti esempi possono semplicemente essere evidenziate con il cursore e copiate nel campo di input.

1 Dipoli tecnici

$$A * \left| \frac{\cos\left(\frac{\pi * l_{el}}{\lambda_0}\right) * \sin(\vartheta + \vartheta_0) - \cos\left(\frac{\pi * l_{el}}{\lambda_0}\right)}{\cos(\vartheta + \vartheta_0)} \right|$$

La formula descrive la dipendenza del diagramma direzionale in angoli polari nel caso di un'antenna a dipolo per cui è stata presunta una distribuzione sinusoidale delle correnti nei conduttori del dipolo. Distorsioni dovute a spostamento di corrente, che è abbattuto da un basso fattore di riduzione (spessore finito dei conduttori diell'antenna) non sono prese in considerazione.

ϑ: angolo polare
ϑ_0: disallineamento angolare
l_{el}: lunghezza elettrica del dipolo (accorciamenti non sono presi in considerazione)
λ_0: lunghezza d'onda nello spazio vuoto

Formula da copiare

A*abs((cos(180*B/32*sin(x+D))-cos(180*B/32))/cos(x+D))

x: angolo polare ϑ
32: lunghezza d'onda nello spazio vuoto in mm (λ_0 = 32 mm per 9,40 GHz).

Dai valori misurati, il programma ottiene valori ottimali per:

A: fit di ampiezza
B: lunghezza elettrica l_{el}
D: disallineamento angolare ϑ_0 (deviazione dell'antenna dalla direzione di riferimento)

Valori d'inizio per i parametri A, B e D

Antenna	A	B/mm	D/deg
dipolo $\lambda/2$	1	16	0
dipolo λ	1	32	0
dipolo $3\lambda/2$	1	48	0
dipolo 2λ	1	64	0
dipolo 4λ	1	128	0

2 Antenne Yagi

2.1 Yagi con un elemento parassita

- Yagi-R: dipolo e 1 riflettore
- Yagi-D: dipolo e 1 direttore

Entrambi i casi sono approssimativamente descritti dal diagramma direzionale di un foglio conduttore (riflettore):

$$A * \left|\cos(\vartheta + \vartheta_0)\right| * \left|\cos\left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi * a}{\lambda_0} * \cos(\vartheta + \vartheta_0)\right)\right|$$

A: fit di ampiezza
a: distanza fra il dipolo e il riflettore
ϑ: angolo polare
λ_0: lunghezza d'onda nello spazio vuoto

Formula da copiare

A*abs(cos(x+B))*abs(cos(C+D*cos(x+B)))

x: angolo polare ϑ

Il fattore **A*cos(x+B)** corrisponde al diagramma direzionale di un dipolo di Hertz. Questa antenna di trasmissione ideale è così corta in confronto alla lunghezza d'onda che la distribuzione della corrente

su di esso si può considerare costante. Il fattore **abs(cos(C+D*cos(x+B)))** descrive l'effetto di un elemento parassita (riflettore o direttore).

Valori di avvio

A=1 fit di ampiezza

B=0 disallineamento angolare ϑ_0, deviazione dell'antenna dalla direzione di riferimento

C=90 fase

D=60 fattore dipendente dalla costruzione, prende in considerazione il rapporto a/λ_0

2.2 Yagi con diversi elementi parassita

Questi casi sono approssimativamente descritti dal diagramma direzionale di un dipolo singolo e così detti fattori di ordine (qui: fattore d'ordine orizzontale):

$$A * |\cos(\vartheta)| * \left| \frac{\cos\left(n * \left(\frac{\beta_0}{2} + \frac{\pi * a}{\lambda_0} * \cos(\vartheta)\right)\right)}{\cos\left(\frac{\beta_0}{2} + \frac{\pi * a}{\lambda_0} * \cos(\vartheta)\right)} \right|$$

A: fit d'ampiezza
n: numero di elementi Yagi, incluso il dipolo
a: distanza media fra gli elementi parassita (direttori, riflettori)
β_0: angolo di fase
ϑ: angolo polare
λ_0: lunghezza d'onda nello spazio vuoto

Formula da copiare

A*abs(cos(x))*abs(cos(B*(C+D*cos(x)))/cos(C+D*cos(x)))

x: angolo polare

Valori di avvio

A=0,4 fit di ampiezza

B=3 (6) numero n di elementi trasmettenti, incluso il dipolo (selezionare **costante**)

C=-60 (-20) angolo di fase β_0

D=50 (36) fattore dipendente dalla costruzione, prendere in considerazione il rapporto a/λ_0

3 Antenna fessurata

Il diagramma direzionale di un'antenna fessurata contiene I fattori D*H*R:

D: diagramma direzionale di un singolo elemento trasmittente
H: fattore d'ordine orizzontale
R: fattore del riflettore

$$A * |\sin(\vartheta + \vartheta_0)| * \left| \frac{\sin\left(\frac{n * \pi * b}{\lambda_0} * \cos(\vartheta + \vartheta_0)\right)}{\sin\left(\frac{\pi * b}{\lambda_0} * \cos(\vartheta + \vartheta_0)\right)} \right| * \left| 2 * \cos\left\{\frac{\pi}{4} * (-1 + \sin(\vartheta + \vartheta_0))\right\} \right|$$

A: fit di ampiezza
n: numero di fessure di trasmissione
b: distanza fra fessure (guida d'onda di mezza lunghezza d'onda $\lambda_G/2$)
ϑ: angolo polare
ϑ_0: disallineamento angolare
λ_0: lunghezza d'onda nello spazio vuoto

Formula da copiare

A*abs(sin(x+B))*abs((sin(D*180*C/32*cos(x+B))/sin(180*C/32*cos(x+B)))*cos(45*(-1+sin(x+B))))

x: angolo polare ϑ

Valori di avvio

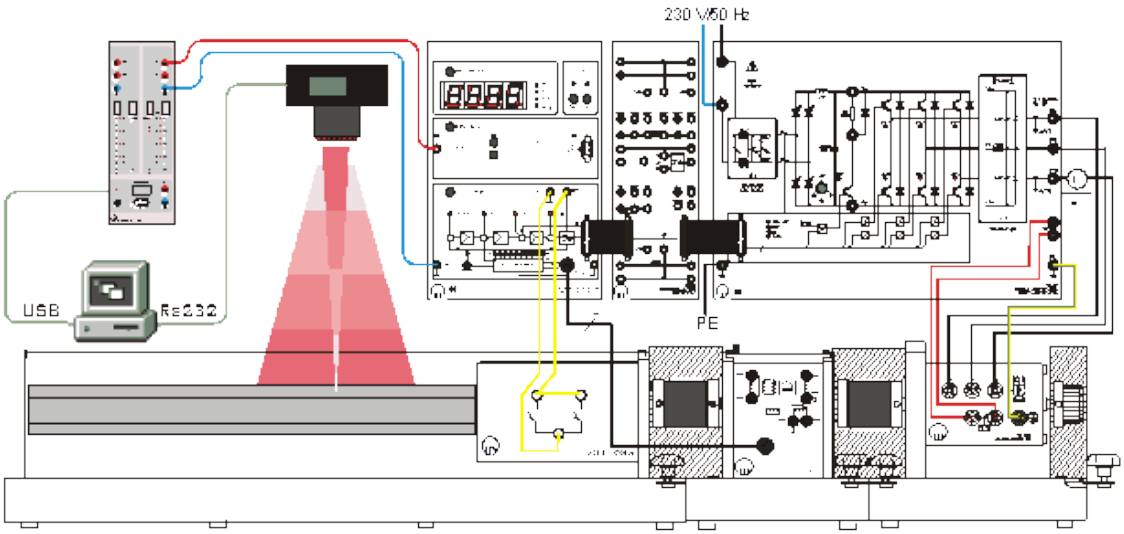
A=1 fit di ampiezza

B=0 angolo di fit ϑ_0

C=23 distanza b fra fessure

D=7 numeri n di fessure (selezionare **costante**)

Ingegneria di comando



Carica esempio

Note di sicurezza

Essere sicuri di avere familiarità con i dispositivi e le rispettive istruzioni d'uso prima di mettere in uso i dispositivi!

Fare attenzione al collegamento fra gli interruttori di posizione dell'unità lineare e l'unità di controllo a commutazione sinusoidale!

Descrizione dell'esperimento

I Servomeccanismi sono frequentemente usati per scopi di posizionamento. In questo esperimento un servo AC con commutazione sinusoidale comanda una unità lineare che muove il pezzo di lavoro da posizionare. Nel processo di controllo della posizione con "posizionamento diretto", la camera VideoCom, che usa una singola linea di CCD (dispositivo ad accoppiamento di carica), registra la "posizione" variabile controllata. Il software registra le variabili controllate e calcola la variabile "tensione" manipolata per il servo AC basata sulla variabile di riferimento specificata nel PC.

Per la registrazione del movimento, viene applicata una striscia retroriflettente per simulare il pezzo di lavoro. VideoCom rileva l'impulso di luce dei LED del flash riflesso dalla striscia e indica la posizione attuale del corpo. Ripetendo il rilevamento di posizione a intervalli regolari, una alta risoluzione, senza contatto si ottiene la registrazione del movimento.

Elenco delle apparecchiature

1	Profi-CASSY	524 016
1	CASSY Lab	524 200
1	VideoCom	337 47
1	Convertitore universale 3x230 V	735 297
1	Unità di controllo a commutazione sin.	735 293
1	Serv AC 0,3	731 994
1	Resolver	731 094
1	Unità lineare 0,1/0,3	731 085
2	Copertura dell'accoppiamento	731 081
1	Copertura terminale	731 071
2	Accoppiamento 0,1/0,3	731 06
1	Treppiede per Camera, p. es.	300 59
	vari cavi di collegamento di sicurezza	
1	PC con Windows 98/2000/XP/Vista	

Per il collegamento del convertitore universale alla rete principale, è consigliabile un alimentatore monofase (p. es. 726 71).

Preparazione dell'esperimento

Preparare l'esperimento secondo il disegno. Collegare il Profi-CASSY alla porta USB e la VideoCom alla porta seriale RS232 del PC. **NON** accoppiare ancora l'unità lineare alla linea di comando! Accoppiare il servo AC ed il revolver come descritto nelle istruzioni d'uso, e mettere il sistema in funzione. Portare la striscia dell'unità lineare approssimativamente nel centro. Attaccare la camera al supporto a un'altezza di circa 1 m sul centro dell'unità lineare. Commutare l'unità di controllo a commutazione sinusoidale in modalità "Controllo di velocità a catena chiusa".

Esecuzione dell'esperimento

Carica settaggi

- Se non è stata selezionata la VideoCom come dispositivo collegato, farlo. Quindi assegnare la VideoCom ad una porta nei Settaggi generali. Quindi salvare questa configurazione con **Salva Nuove Configurazioni**.
- Se nessun valore è visualizzato nella finestra per la variabile controllata dello spazio, regolare la camera in modo da visualizzare la posizione.
- Settare la variabile d'ingresso di riferimento w a un valore di 0,5 m.
- Avviare la misura con **F9** (orologio). Il motore si avvia. Girare l'unità di posizionamento manualmente fino all'arresto del motore.
- Accoppiare ora l'unità di posizionamento e la linea di comando. Cambiando la variabile d'ingresso di riferimento w si possono specificare le posizioni, che allora sono avvicinate.
- Ora si possono cambiare i parametri di controllo K_p e T_n e osservare l'effetto di questi cambiamenti sul controllo. Nello stesso modo si possono settare i limiti per la velocità e la corrente nell'unità di controllo a commutazione sinusoidale (vedere istruzioni per l'uso).

Appendice

Contatore a scintillazione

Il contatore a scintillazione (559 901) permette di determinare l'energia della radiazione γ. Quando interagisce con il cristallo di scintillazione, la radiazione provoca un aumento degli impulsi luminosi i quali sono convertiti in impulsi elettrici da un fotomoltiplicatore. Il numero dei fotoni emessi e quindi l'ampiezza degli impulsi è proporzionale all'energia della radiazione γ. L'analisi dell'ampiezza dell'impulso si esegue con un analizzatore multicanale (MCA), ad esempio con il box MCA (524 058) associato a Sensor CASSY (524 010).

L'energia della radiazione α si determina con un rivelatore a semiconduttore.

Scintillatori NaI(Tl)

Un materiale molto usato per la costruzione dei contatori a scintillazione è il NaI(Tl). Eseguendo il drogaggio con il tallio (Tl) si generano dei centri luminosi. Il contenuto di iodio (Z=53) aumenta notevolmente la probabilità di rivelazione della radiazione γ. La rivelazione dei quanti γ emessi da una sorgente si ottiene per trasferimento di energia agli elettroni di NaI, i quali vengono rallentati dal cristallo di scintillazione. Questo determina la formazione di coppie di cariche dovute ad un aumento del numero di livelli energetici presenti nella banda di conduzione e ad una diminuzione di quelli presenti nella banda di valenza. Il numero di coppie buchi-elettroni è proporzionale all'energia assorbita poiché l'energia necessaria per generare una sola coppia buco-elettrone è sempre la stessa. Gli atomi di tallio legati al reticolo cristallino sono ionizzati per interazione con i buchi che compaiono quando gli elettroni primari rallentano. A causa della ricombinazione tra buchi ed elettroni, si ha una emissione di fotoni con una energia compresa fra 2,9 e 3,1 eV per cui il numero di elettroni è proporzionale all'energia assorbita.

Il cristallo di NaI è trasparente ai fotoni emessi. A causa della bassa concentrazione di tallio, è assai improbabile che questi fotoni vengano assorbiti dagli atomi di tallio. Poiché il cristallo di scintillazione ha un reticolo molto regolare, al suo interno non c'è dispersione. Inoltre, il cristallo è inserito in un contenitore impenetrabile alla luce ed è rivestito con un materiale riflettente. Per questi motivi la maggior parte dei fotoni emessi raggiunge il fotocatodo del fotomoltiplicatore. I fotoni emessi, urtando sul fotocatodo, dando luogo ad una emissione di elettroni secondari. Attraverso una serie di dinodi disposti in cascata, si ottiene un aumento a valanga del flusso di elettroni. Il guadagno di un fotomoltiplicatore a dinodi dipende, tra le altre cose, dalla differenza di potenziale applicata ai vari dinodi e dal materiale utilizzato. Il potenziale applicato ai dinodi viene fornito da un divisore di tensione alimentato da un generatore ad alta tensione stabilizzato termicamente. Una carica proporzionale al numero di fotoni raggiunge l'anodo provocando una circolazione di corrente e quindi una differenza di potenziale ai capi della resistenza di carico. Se il tempo di decadimento dell'impulso in uscita è molto maggiore della costante di tempo dell'emissione luminosa ottenuta per eccitazione degli atomi di tallio (t = 0,23 μs), il segnale ai capi del carico è proporzionale alla carica elettrica. In sostanza, l'ampiezza dell'impulso è proporzionale all'energia della radiazione assorbita.

La misura degli impulsi di tensione si esegue con un sistema che comprende, ad esempio, il box MCA, Sensor CASSY, il software CASSY Lab ed un PC.

L'energia della radiazione che raggiunge il rivelatore non viene sempre convertita completamente dal cristallo di scintillazione poiché, ad esempio, parte di essa si disperde per effetto Compton.

Attenzione

- Il cristallo di NaI(Tl) che si trova alla fine del contatore a scintillazione è molto sensibile alle sollecitazioni meccaniche e si può rompere facilmente.
- Il cristallo di NaI(Tl) è anche sensibile ai bruschi sbalzi di temperatura i quali, ad esempio, possono danneggiare il contenitore durante il trasporto.

In entrambi i casi, si possono verificare delle incrinature nel cristallo che ne riducono la sensibilità e, soprattutto, possono peggiorare la risoluzione energetica a causa della dispersione.

Contatori a semiconduttore

Per la rivelazione delle radiazioni α, si preferisce ricorrere a rivelatori a semiconduttore a livello di sbarramento. L'effetto ionizzante della radiazione α genera una carica elettrica nel livello di sbarramento di un diodo a semiconduttore (559 92). Questa carica, proporzionale all'energia della radiazione α, si può rilevare elettronicamente e quindi misurare attraverso un opportuno preamplificatore (559 93). L'impulso elettrico si può elaborare ulteriormente con un analizzatore multicanale, ad esempio con il box MCA associato a Sensor CASSY.

I preparati usati in questo esperimento emettono particelle α con un'energia che si aggira attorno ai 6 MeV. Nel silicio, queste particelle hanno una profondità di penetrazione di circa 50 μm. La larghezza del livello di sbarramento del diodo a semiconduttore dipende dalla tensione inversa applicata; con una tensione inversa di 10 V questo spessore è dell'ordine di 70 μm.

Analisi multicanale dell'ampiezza dell'impulso

I segnali, una volta rivelati, vengono elaborati ulteriormente con un analizzatore multicanale i cui componenti principali sono un rivelatore di picco ed un convertitore analogico-digitale. Il rivelatore di picco immagazzina il valore massimo dell'impulso U presente in ingresso, il convertitore analogico-digitale converte questo valore in una grandezza digitale k. Più precisamente, k corrisponde alle ampiezze degli impulsi di valore compreso entro un intervallo la cui larghezza dipende dalla risoluzione del convertitore analogico digitale. Il computer assegna una locazione di memoria a ciascun valore digitale e, in corrispondenza di ogni locazione, esegue il conteggio degli eventi. Come risultato si ottiene un istogramma che indica la frequenza con la quale si distribuiscono le ampiezze degli impulsi. Per una valutazione quantitativa dell'energia, prima di tutto bisogna eseguire una calibrazione per ricavare il coefficiente di proporzionalità tra energia ed ampiezza dell'impulso.

La calibrazione dell'energia si esegue tramite la registrazione dello spettro di una sorgente nota. Quindi si assegna a ciascun valore di energia il corrispondente numero di canale. Questa calibrazione è valida anche per gli altri spettri che vengono registrati nelle medesime condizioni.

Con il Sensor CASSY (524 010) supportato da CASSY Lab (524 200), il box MCA (524 058) si comporta come un analizzatore multicanale.

Interazione della radiazione γ con la materia

Quando l'energia della radiazione γ è compresa tra 50 e 2000 keV, ci sono due processi di interazione dei raggi γ con il cristallo di scintillazione che intervengono in modo preponderante.

Nel caso dell'effetto fotoelettrico, il quanto γ trasferisce la sua energia totale E_γ ad un atomo del cristallo liberando un elettrone. Indipendentemente dalla quantità di energia posseduta, la radiazione γ trasferisce la propria energia all'elettrone sotto forma di energia cinetica. Questa energia cinetica si trasferisce al cristallo per dispersione anelastica. L'atomo ionizzato emette quanti di raggi X o elettroni Auger la cui energia, in molti casi, viene completamente assorbita dal rivelatore. La quantità di energia assorbita corrisponde all'energia del quanto γ. In questo caso, la registrazione della radiazione γ si ha quando l'assorbimento totale della distribuzione degli impulsi raggiunge il massimo.

Nel caso dell'effetto Compton, parte dell'energia γ viene convertita per urto elastico in energia cinetica dell'elettrone quasi-libero. La parte rimanente di energia γ, molto probabilmente, abbandona il cristallo di scintillazione per dispersione dei quanti γ. L'energia dell'elettrone assorbito dal rivelatore varia tra 0 keV (dispersione diretta del quanto γ) ed un valore massimo E_C (dispersione inversa del quanto γ) dando luogo alla distribuzione Compton.

Trasformazione interna

Al termine di un decadimento radioattivo (decadimento α o β), i nuclei residui possono rimanere in uno stato di eccitazione. L'emissione di energia che si ha durante il passaggio verso lo stato di decadimento può avvenire in diversi modi.

Indipendentemente dall'emissione diretta di energia di un quanto γ, il nucleo può trasferire la sua energia ad un elettrone appartenente alla propria struttura atomica. La probabilità di trovare elettroni nel nucleo non è del tutto nulla. L'energia si trasferisce preferibilmente agli elettroni dei livelli più interni. Essi trasportano l'energia dello stato eccitato sotto forma di energia cinetica e lasciano dietro di se un solo atomo ionizzato. Il buco che si trova a livello atomico più interno viene neutralizzato dagli elettroni che si trovano ad un livello più alto. L'energia che si sviluppa durante questo processo si può trasferire ad un altro elettrone dello stesso nucleo (processo Auger) oppure può dar luogo ad una emissione di raggi X.

Poiché la diseccitazione del nucleo dovuta alla trasformazione interna provoca una emissione di raggi γ, gli isotopi che emettono radiazioni γ sono gli elementi in grado di favorire l'osservazione delle emissioni K_α.

Raggi X

In molti processi come la trasformazione interna e l'effetto fotoelettrico, l'irraggiamento può provocare la ionizzazione di un atomo. In fisica nucleare, spesso un elettrone è in grado di abbandonare i livelli più interni a causa della sua elevata energia. Il buco che si forma a livello atomico più interno viene neutralizzato dagli elettroni che si trovano a livello più alto. L'energia che si sviluppa durante questo processo si può trasferire ad un altro elettrone dello stesso nucleo (processo Auger) oppure può dar luogo ad una emissione di raggi X.

Se un buco che si trova a livello K viene neutralizzato dal livello L, si ha l'emissione di una radiazione K_α. Invece, se viene neutralizzato dal livello M, si ha l'emissione di una radiazione K_β alla quale è associata una maggiore energia.

Secondo Moseley, l'energia della riga K_α dei vari atomi si può determinare in base al numero atomico Z mediante questa formula:

$$E_{K\alpha} = \frac{3}{4} R(Z-1)^2$$

nella quale compare la costante di Rydberg R= 13,605 691 72(53) eV.

Un'analisi più accurata mostra che in tutti i livelli superiori al livello K si ha una discretizzazione dell'energia. Il livello L contiene tre sottolivelli. Da due di essi, le cui righe si chiamano $K_{\alpha1}$ e $K_{\alpha2}$, si può raggiungere il livello K. Queste righe non si possono analizzare con il contatore a scintillazione.

I valori esatti dei legami energetici dei singoli livelli si possono trovare nella letteratura specializzata, per esempio C. M. Lederer e V. S. Shirley, Tabella degli Isotopi, 7ª Edizione, (Wiley-Interscience, 1978) oppure nel sito internet: http://nucleardata.nuclear.lu.se/NuclearData/toi/.

Ad esempio, tabelle sulle righe dello spettro dei raggi X di facile consultazione si possono trovare in http://xray.uu.se/hypertext/XREmission.html oppure in http://www.amptek.com/xray_chart.html.

Righe dello spettro dei raggi X di alcuni elementi

Z	Elemento	K_α/keV	K_β/keV
29	Cu	8,05	8,91
30	Zn	8,64	9,57
42	Mo	17,48	19,61
50	Sn	25,27	28,49
53	I	28,61	32,29
56	Ba	32,19	36,38
73	Ta	57,53	65,22
74	W	59,32	67,24
79	Au	68,80	77,98
80	Hg	70,82	80,25
81	Tl	72,87	82,58
82	Pb	74,97	84,94
83	Bi	77,11	87,34
84	Po	79,29	89,80
85	At	81,52	92,30
86	Rn	83,78	94,87
87	Fr	86,10	97,47
88	Ra	88,47	100,13
89	Ac	90,88	102,85
90	Th	93,35	105,61
95	Am	106,35	120,16

Effetto Compton (principio fisico)

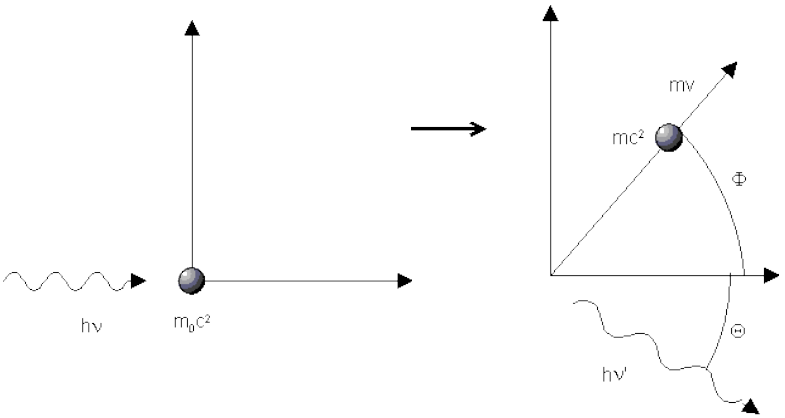
Notizie storiche

Le radiazioni elettromagnetiche subiscono una diffusione quando attraversano un materiale. Nel 1921, A.H. Compton fece la seguente osservazione: lo spettro dei raggi X sottoposti a diffusione tramite un materiale non solo contiene componenti che restano invariate, ma contiene anche una componente il cui spostamento dipende dall'angolo di diffusione. In base al principio di conservazione dell'energia e del momento della quantità di moto, Compton ritenne che questo fenomeno fosse una forma particolare di radiazione dovuta alla collisione tra un quanto raggi X ed un elettrone del materiale che ha provocato la diffusione.

La variazione di lunghezza d'onda che si verifica in tale circostanza dipende soltanto dall'angolo di diffusione e non dal materiale utilizzato. Per studiare l'effetto Compton conviene utilizzare materiali con piccola carica atomica, per esempio l'alluminio, poiché la diffusione presenta un basso assorbimento.

Determinazione dello spostamento per effetto Compton

L'effetto Compton si può trattare prendendo lo spunto dall'urto elastico tra un fotone ed un elettrone. Il calcolo si basa su un principio semirelativistico poiché l'energia in gioco è maggiore di quella della massa residua dell'elettrone.



Dal principio di conservazione dell'energia

$$h\nu + m_0c^2 = h\nu' + mc^2$$

con

$$m = m_0 \Big/ \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

e dalla conservazione del momento della quantità di moto nella direzione delle coordinate

$$\frac{h\nu}{c} = \frac{h\nu'}{c}\cos\Theta + mv\cos\Phi$$

$$0 = \frac{h\nu'}{c}\sin\Theta - mv\sin\Phi$$

si ottiene

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c}\left(1 - \cos\Theta\right)$$

e con

$$E_r' = h\nu' = \frac{hc}{\lambda'}$$

si ha

$$E_r' = E_r \Big/ \left(1 + \frac{E_r}{m_0c^2}\left(1 - \cos\Theta\right)\right)$$

Effetto Compton (spettro)

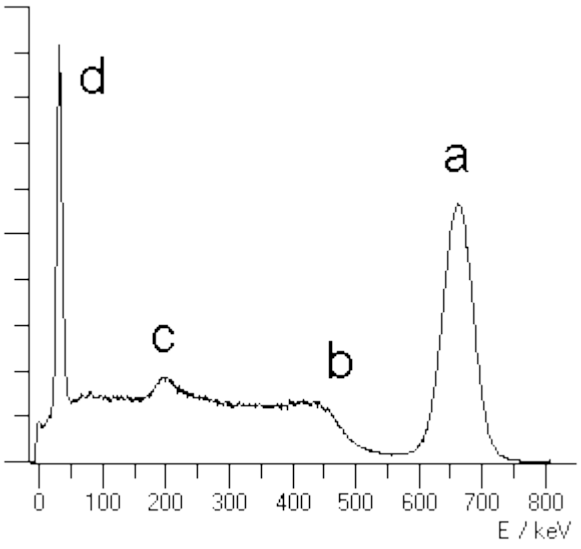
Di solito, l'effetto Compton si manifesta quando una radiazione elettromagnetica attraversa un materiale; ma è anche possibile trasformare completamente la radiazione emessa dal preparato con il cristallo di scintillazione. L'effetto Compton si può osservare sperimentalmente utilizzando in entrambi i casi il preparato ed il rivelatore; però sullo spettro si ottengono effetti diversi.

Per esempio, si consideri un preparato in grado di emettere solo una linea γ con energia E_γ. In questo caso, i valori numerici si riferiscono alla riga 662 keV che si ottiene utilizzando come sorgente il Cs-137 (punto a dello spettro). La riga d è un'altra riga di emissione del Cs-137 il cui decadimento, in questo caso, non interessa.

Se la collisione Compton avviene all'esterno del rivelatore si ha una perdita di energia del quanto γ prima che esso possa raggiungere il rivelatore. Questo genera una continua diffusione di fotoni aventi un'energia compresa tra E_γ (662 keV) e l'energia che si ha dopo una diffusione inversa a 180° (184 keV, punto c dello spettro). Poiché il coefficiente di diffusione dipende dalla direzione della radiazione (formula di Klein-Nishina), aumenta la probabilità di una diffusione a 180°. La diffusione inversa genera il picco c dello spettro.

Il quanto γ può essere completamente assorbito dal rivelatore, però l'effetto Compton si può verificare anche se il quanto γ sfugge al rivelatore e viene rivelata solo l'energia dell'elettrone. L'energia di questo elettrone è compresa tra zero ed il valore massimo corrispondente alla diffusione inversa a 180°, per cui si passa con continuità da zero fino al livello di Compton (478 keV, punto b).

Un altro caso in cui l'assorbimento di energia da parte del rivelatore risulta incompleto si ha nel processo di fuga del quanto K_α. Il quanto γ incidente trasferisce la propria energia o parte di essa ad un elettrone di un livello interno. Se l'elettrone colpisce un atomo, si ha la formazione di un buco. Quando il buco viene neutralizzato, si ha una emissione di raggi X che può fuoriuscire dal cristallo di scintillazione per cui l'energia di un quanto K_α può andare perduta. Perciò, in alcune circostanze, nello scintillatore NaI si può osservare una riga spostata di 28,6 keV (iodio K_α).



Sorgenti radioattive

disposte in ordine di energia crescente:

radiatori γ:

energia	preparato	sorgente	
32,19 keV	Cs-137	Ba-137	riga K_α dopo trasformazione interna
53,23 keV	Ra-226	Bi-214	emissione γ da parte dello stato di eccitazione
59,54 keV	Am-241	Np-237	emissione γ da parte dello stato di eccitazione
74,96 keV		Piombo	schermatura, riga K_α dopo ionizzazione nel piombo
74,96 keV	Th-232	Pb-208	riga K_α dopo trasformazione interna
77,10 keV	Th-232	Bi-212	riga K_α dopo trasformazione interna
77,10 keV	Ra-226	Bi-214	riga K_α dopo trasformazione interna
79,30 keV	Ra-226	Po-214	riga K_α dopo trasformazione interna
93,33 keV	Th-232	Th-228	riga K_α dopo trasformazione interna
186,10 keV	Ra-226	Rn-222	emissione γ da parte dello stato di eccitazione
238,63 keV	Th-232	Bi-212	emissione γ da parte dello stato di eccitazione
241,98 keV	Ra-226	Bi-214	emissione γ da parte dello stato di eccitazione
295,21 keV	Ra-226	Bi-214	emissione γ da parte dello stato di eccitazione
338,32 keV	Th-232	Th-228	emissione γ da parte dello stato di eccitazione
351,92 keV	Ra-226	Bi-214	emissione γ da parte dello stato di eccitazione
511,00 keV	Na-22	β^+	annichilazione del positrone nella materia
583,19 keV	Th-232	Pb-208	emissione γ da parte dello stato di eccitazione
609,31 keV	Ra-226	Po-214	emissione γ da parte dello stato di eccitazione
661,66 keV	Cs-137	Ba-137	emissione γ da parte dello stato di eccitazione
911,20 keV	Th-232	Th-228	emissione γ da parte dello stato di eccitazione
968,97 keV	Th-232	Th-228	emissione γ da parte dello stato di eccitazione
1173,23 keV	Co-60	Ni-60	emissione γ da parte dello stato di eccitazione
1274,53 keV	Na-22	Ne-22	emissione γ da parte dello stato di eccitazione
1332,50 keV	Co-60	Ni-60	emissione γ da parte dello stato di eccitazione
1460,81 keV	K-40	Ar-40	emissione γ da parte dello stato di eccitazione

radiatori α:

Poiché il campione viene sempre ricoperto, la perdita di energia della particella α emessa dipende dalla quantità del preparato. Per le righe Am-241 si ha una perdita di circa 1 - 2 MeV.

energia	preparato	sorgente	
4784,34 keV	Ra-226	Ra-226	
5304,38 keV	Ra-226	Po-210	
5489,52 keV	Ra-226	Rn-222	
6002,35 keV	Ra-226	Po-218	
7686,82 keV	Ra-226	Po-214	
5388,23 keV	Am-241	Am-241	struttura fine di Np-237, intensità 1,6%
5442,80 keV	Am-241	Am-241	struttura fine di Np-237, intensità 13%
5485,56 keV	Am-241	Am-241	struttura fine di Np-237, intensità 84%
5511,47 keV	Am-241	Am-241	struttura fine di Np-237, intensità 0,22%
5544,50 keV	Am-241	Am-241	struttura fine di Np-237, intensità 0,34%

radiatori β:

energia	preparato	sorgente	
317,88 keV	Co-60	Co-60	assorbito nella parete
513,97 keV	Cs-137	Cs-137	decadimento β^-
546,00 keV	Sr-90	Sr-90	assorbito nella parete
546,00 keV	Na-22	Na-22	decadimento β^+
625,67 keV	Cs-137	Ba-137	Trasformazione monoenergetica degli elettroni
1175,60 keV	Cs-137	Cs-137	decadimento β^-

1820,20 keV	Na-22	Na-22	decadimento β^+
2280,10 keV	Sr-90	Y-90	decadimento β^-

I dati sono stati presi da:
The Lund/LBNL Nuclear Data Search
Versione 2.0, Febbraio 1999
S.Y.F. Chu 1, L.P. Ekstroem 1,2 e R.B. Firestone 1
1 LBNL, Berkeley, USA
2 Dipartimento di Fisica, Lund University, Svezia
e sono disponibili in http://nucleardata.nuclear.lu.se/nucleardata/toi/index.asp.

I preparati messi a disposizione dalla LD Didactic sono i seguenti:

Cat. No.	**denominazione**
588 855	serie di apparecchi STM RAD 1 con il seguente materiale:
	cenere di noce del Brasile 060 26 002 (Ra-226)
	solfato di potassio 200 67 322 (K-40)
559 430	preparato di Ra-226, 3,3 kBq
559 82	preparato di Am-241, 330 kBq
559 87	preparato di Sr-90, 110 kBq
559 809	preparato di Cs-137, 3,7 MBq
559 815	preparato di Cs-137, 370 kBq, per estrarre Ba-137 m
559 885	preparato di Cs-137, 5 kBq, per becher Marinelli
559 83	serie di preparati radioattivi
	preparato di Am-241, 74 kBq
	preparato di Co-60, 74 kBq
	preparato di Na-22, 74 kBq
	preparato di Sr-90, 74 kBq
	miscela di preparati α, β, γ come 559 84, vedere sotto
559 84	miscela di preparati α, β, γ, contenente
	Cs-137, 330 kBq
	Am-241, 4,4 kBq
	Sr-90, 4,4 kBq

Alla Tabella degli esperimenti

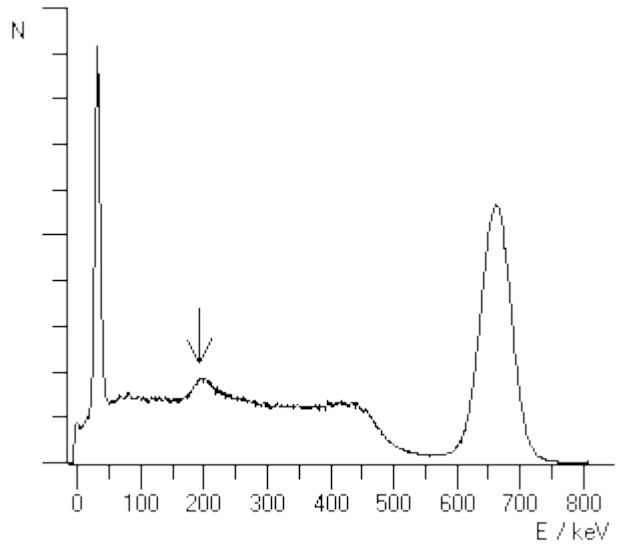
Cesio-137

Il Cesio-137 è un isotopo radioattivo artificiale avente un tempo di dimezzamento di 32 anni. Dal suo decadimento per emissione di raggi β si ottiene il bario-137. Il 94,6 % di questo decadimento conduce ad uno stato metastabile di bario, il Ba-137 m, il quale raggiunge lo stato decaduto con un tempo di dimezzamento di 156 s con emissione di un quanto γ di 661,6 keV. Il rimanente 5,4 % da luogo a bario decaduto. Gli elettroni emessi hanno una energia massima di 513,97 keV e 1175,6 keV.

La perdita di energia con emissione di un quanto γ di 661,6 keV non è il solo modo che permette di ottenere bario metastabile. In certi casi, può cedere la sua energia ad un elettrone del livello 1s del proprio atomo ("trasformazione interna"). Gli elettroni che hanno una energia di 625,67 keV data dalla differenza tra l'energia di eccitazione del bario e l'energia dei legami degli elettroni, contrariamente al decadimento beta, essi non cedono la propria energia poiché non sono coinvolte altre particelle. Il buco del livello 1s si neutralizza in corrispondenza dei livelli superiori. Questo processo fa aumentare l'emissione di raggi X da parte del bario, in particolare da parte della riga K_α a 32,19 keV.

A causa della riga monoenergetica γ a 661,6 keV, questo isotopo è particolarmente adatto per studiare l'effetto Compton e per eseguire una calibrazione dell'energia.

In base al tipo di rivestimento del preparato, si può osservare anche la riga di trasformazione K_α a 32,19 keV ed utilizzarla per una calibrazione dell'energia. Il generatore dell'isotopo Cs/Ba-137 (559 815) contiene un sale con Cs-137 dal quale si può eliminare il Ba-137. A causa delle piccole dimensioni del contenitore in plastica, questa sorgente è in grado di fornire due righe distinte a 32,19 keV ed un debolissimo picco di diffusione inversa anche senza eliminazione del bario. Contrariamente, la miscela di preparati (559 84) mostra un picco netto di diffusione inversa per la presenza del sostegno di alluminio, ma non compare la riga di trasformazione K_α . È presente anche Am-241 la cui riga a 59,54 keV si può usare per la calibrazione.



Spettro γ del Cs-137, preparato con piccola diffusione inversa e con riga K_α

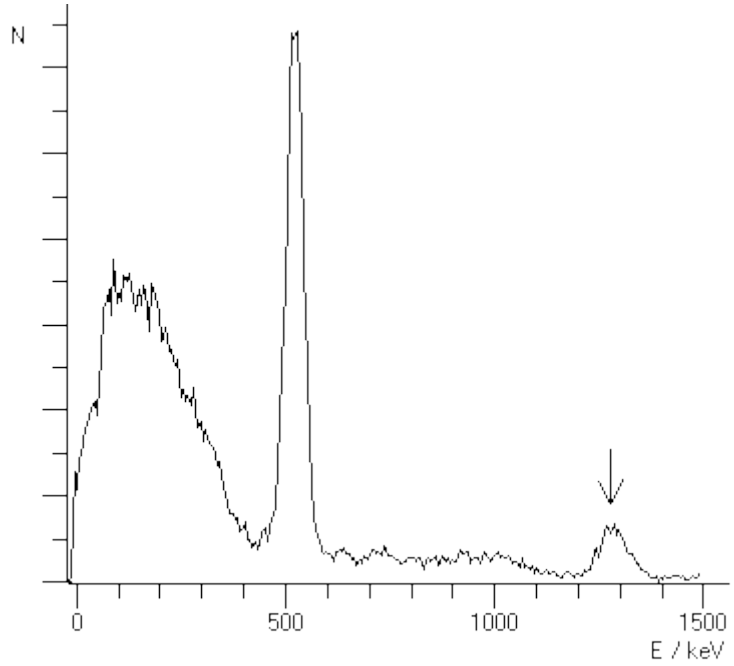
Ritorna alla tabella

Sodio-22

Il Sodio-22 è un isotopo artificiale avente un tempo di dimezzamento di 2,6 anni. Questo elemento decade verso lo stato stabile neon-22 con emissione di un positrone (decadimento β^+). Una piccolissima parte (0,06 %) da luogo direttamente a neon decaduto. Tutto il resto conduce ad uno stato di eccitazione del neon, in parte (9,5 %) a causa dell'elettrone catturato dal livello atomico interno, ma soprattutto a causa dell'emissione di un positrone. Il neon che si trova in stato di eccitazione passa allo stato decaduto con emissione di un quanto γ a 1275 keV. Il tempo di vita del neon che si trova in stato di eccitazione è solo 3,7 ps.

I positroni emessi reagiscono con gli elettroni della materia circostante dando luogo ad una radiazione di annichilazione a 511 keV. Per il principio di conservazione dell'energia, nell'annichilazione di un positrone e di un elettrone, vengono prodotti due quanti γ. Questi fotoni sono emessi in direzioni opposte.

Poiché il tempo di ritardo tra la riga a 1275 keV e la radiazione di annichilazione è decisamente piccolo, compare anche una riga a 1275 + 511 = 1786 keV che è il risultato del simultaneo assorbimento dei due quanti γ.



Spettro γ di Na-22

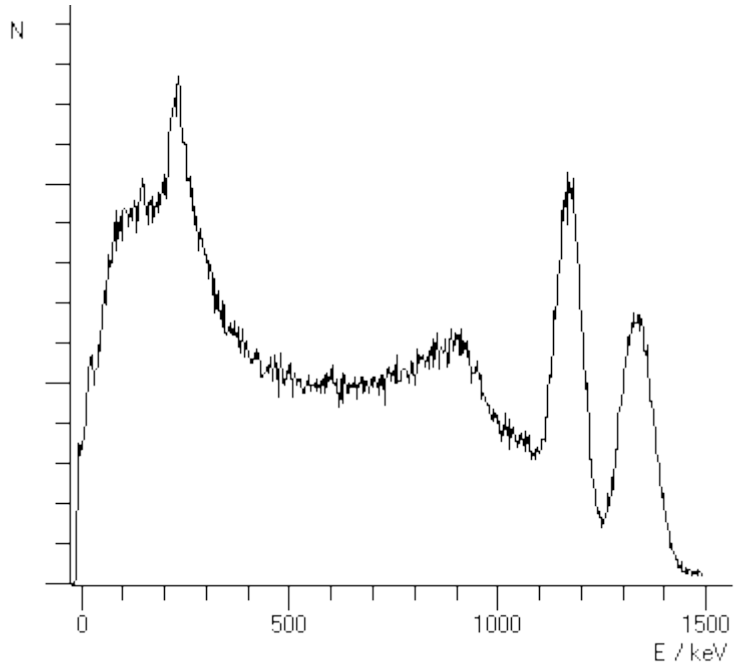
Ritorna alla tabella

Cobalto-60

Il cobalto è un isotopo artificiale con un tempo di dimezzamento di 5,27 anni. Questo elemento decade emettendo un elettrone avente una energia massima di 318 keV (decadimento β) fino a raggiungere uno stato di eccitazione corrispondente al nichel-60. Da questo stato passa ad un altro stato di eccitazione con emissione di un quanto γ a 1173 keV, infine raggiunge lo stato decaduto con emissione di un quanto γ di 1333 keV.

Il rivestimento del preparato utilizzato nell'esperimento assorbe le particelle β, perciò si possono osservare solo quanti γ.

Se si esegue una spettroscopia γ con un contatore a scintillazione, bisogna tenere presente che il livello Compton della riga che si trova a livello energetico più alto passa da 1333 keV a 1119 keV, cioè ad un livello più basso della seconda riga che vale 1173 keV, quindi si ottiene una figura distorta.

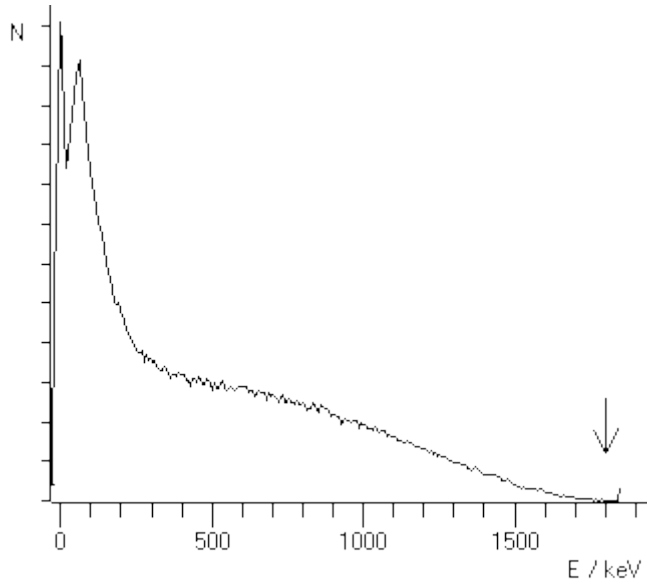


Spettro γ del Co-60

Ritorna alla tabella

Stronzio-90

Lo stronzio-90 è un isotopo artificiale con un tempo di dimezzamento di 28,5 anni. Questo elemento decade in ittrio-90 emettendo un elettrone avente una energia massima di 546 keV (decadimento β). Infine, attraverso un decadimento beta con una energia massima di 2274 keV si ottiene zirconio-90 il quale ha un tempo di dimezzamento di 64,1 ore.



Spettro β di Sr-90 ricavato con il contatore a scintillazione.

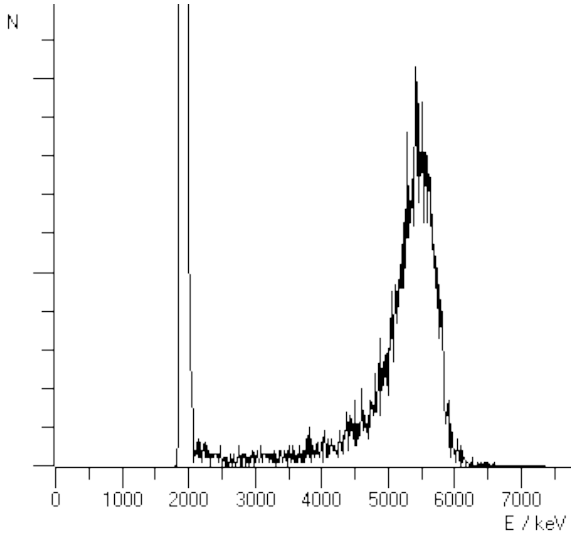
Ritorna alla tabella

Americio-241

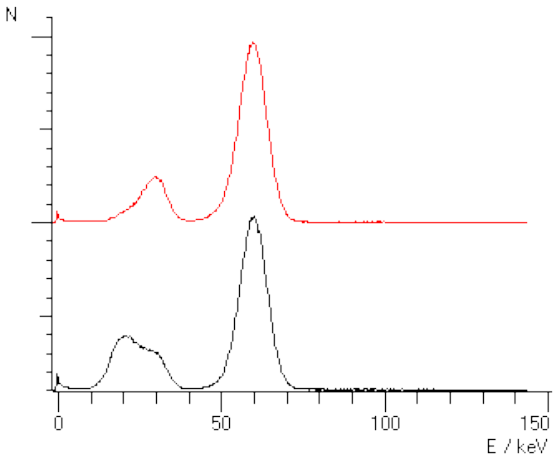
L'americio-241 è un isotopo artificiale con un tempo di dimezzamento di 433 anni. Durante il decadimento emette particelle α aventi un'energia di circa 5500 keV ed infine raggiunge lo stato di eccitazione del nettunio-237. In questo esperimento, non è possibile osservare separatamente le righe a 5388, 5443, 5486, 5511 e 5545 keV dei diversi stati di eccitazione che l'elemento raggiunge durante il decadimento. Nello spettro ricavato sperimentalmente prevalgono due righe: la riga a 5486 keV che viene emessa per il 84% di tutto il decadimento e che presenta una maggiore intensità, la riga a 5443 keV che viene emessa per il 13% di tutto il decadimento. Il rimanente 3 % si distribuisce sulle altre tre righe.

A causa dell'indispensabile rivestimento del preparato, le particelle α perdono la loro energia prima ancora di raggiungere il rivelatore. Eventualmente, solo una particella α di circa 1,5 MeV è in grado di raggiungere il rivelatore e dar luogo ad un piccolissimo impulso elettrico. Pertanto, se nel corso della misura si calibrano le righe dello spettro con i valori teorici, è possibile osservare un offset di energia. Lo spettro ricavato sperimentalmente inizia a circa 1,5 MeV.

Uno degli stati di eccitazione del nettunio-237 raggiunge lo stato decaduto con emissione di un quanto γ di 59,54 keV.



Spettro α di Am-241



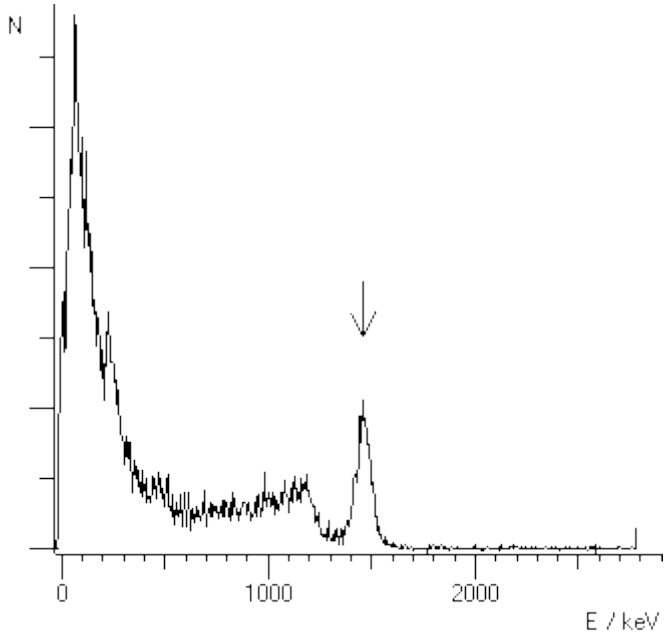
Spettro γ di Am-241, curva superiore: emissione del preparato dal lato della parete che funziona da filtro, curva inferiore: emissione del preparato attraverso il foro

Nello spettro gamma, vicino alla riga di emissione del Np-237 a 59,54 keV, si possono vedere altre righe. Potrebbero essere la riga L del nettunio (17 keV) e la riga di fuga del quanto Kα dello iodio (26,3 keV).

Ritorna alla tabella

Potassio-40

Il potassio naturale contiene lo 0,012 % di isotopo radioattivo K-40 il quale ha un tempo di dimezzamento di 1,27 miliardi di anni. Il 90 % di K-40, attraverso una trasformazione β, passa allo stato decaduto del Ca-40, mentre il restante 10 % decade nello stato di eccitazione di Ar-40; nei due casi, si ha una emissione β^+ o la cattura di un elettrone. Nel passaggio verso lo stato di decaduto, Ar-40 emette un quanto gamma di 1460,81 keV.



Spettro γ di K-40

L'attività del potassio naturale è di 32 Becquerel per ogni grammo di potassio metallico, 17 Becquerel per ogni grammo di KCl o 9 Becquerel per ogni grammo di solfato di potassio KSO_4.

Ritorna alla tabella

Radio-226

Il radio è un elemento disponibile in natura. Ha un tempo di dimezzamento di 1600 anni e viene prodotto indirettamente dalla serie radioattiva dell'uranio-238, la cosiddetta serie 4n+2.

Il radio è legato chimicamente al bario ed al calcio ed è presente, ad esempio, nelle noci del Brasile; infatti si trova nella cenere di noce del Brasile. La quantità di radio dipende dalla zona di coltivazione ed il suo ordine di grandezza si aggira sui 10 picogrammi per ogni grammo di cenere.

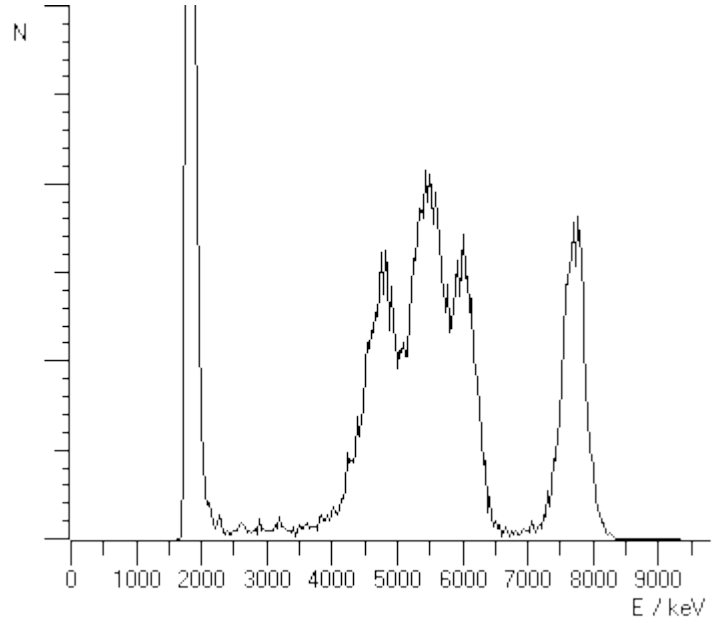
Il radio-226 puro è un radiatore α, di conseguenza, i prodotti del suo decadimento sono principalmente radiazioni α associate a radiazioni β e γ. Per i particolari sul decadimento, vedere sotto.

Per produrre un preparato radioattivo si utilizza radio puro. Nel corso del tempo, gli isotopi della serie radioattiva si accumulano fino a raggiungere una condizione di equilibrio. Il primo elemento della serie radioattiva ha un tempo di dimezzamento molto breve per cui l'equilibrio viene raggiunto dopo pochissimo tempo. Tuttavia, l'isotopo piombo-210 ha un tempo di dimezzamento di 22,3 anni. Di conseguenza esso impiega molto tempo prima di raggiungere l'equilibrio, perciò l'attività del prodotto ottenuto dopo il decadimento (per es. polonio-210) permette di risalire all'età della sorgente.

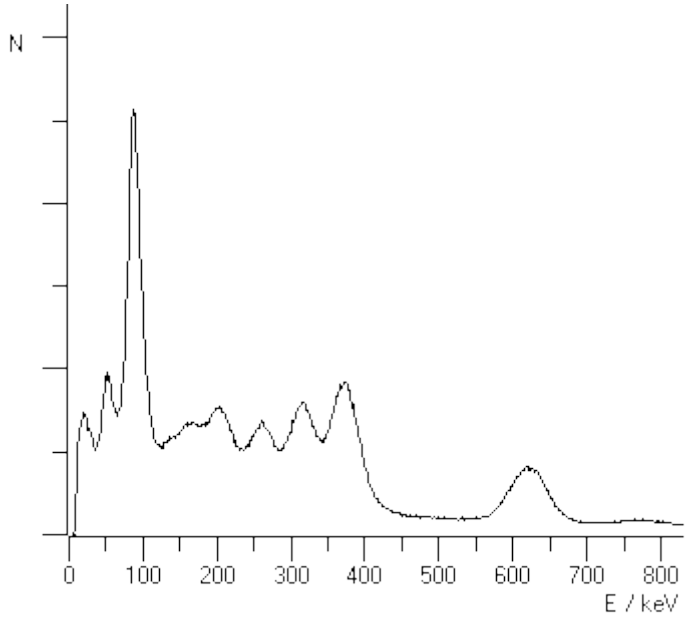
In questo esperimento lo **spettro** α presenta cinque righe nella zona in cui l'energia si aggira sui 6 MeV. Sfortunatamente, non si riesce a separare distintamente le righe del Po-210 e del Rn-222 a causa della confusa distribuzione di energia dovuta al rivestimento del preparato.

energia	**sorgente**
4784 keV	Ra-226
5304 keV	Po-210
5489 keV	Rn-222
6002 keV	Po-218
7687 keV	Po-214

A causa del rivestimento del preparato, le particelle α perdono la loro energia prima ancora di raggiungere il rivelatore. Eventualmente, solo una particella α di circa 2 MeV è in grado di raggiungere il rivelatore e dar luogo ad un piccolissimo impulso elettrico. Pertanto, se nel corso della misura si calibrano le righe dello spettro con i valori teorici, è possibile osservare un offset di energia. Lo spettro ricavato sperimentalmente inizia a circa 2 MeV.



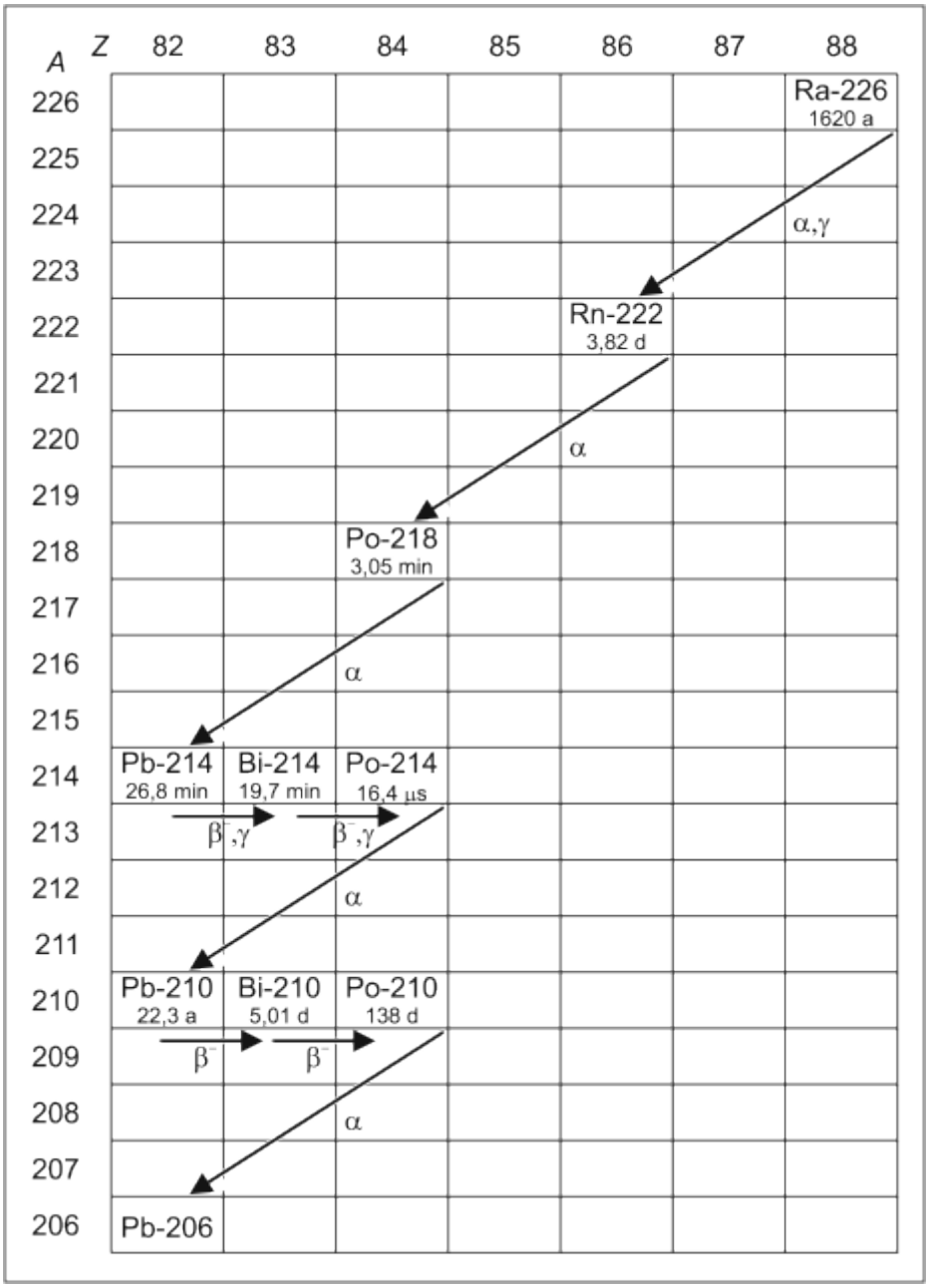
Lo **spettro** γ di una sorgente di radio presenta molte righe dovute alla presenza di differenti isotopi della serie radioattiva. La riga a 186 keV è l'unica che proviene direttamente dal decadimento del radio-226, cioè da uno stato di eccitazione del radon-222. Gli stati di eccitazione del Bi-214 danno luogo a quattro righe a 352 keV, 295 keV, 242 keV e 53 keV. Lo stato di eccitazione del Po-214 da luogo alla riga a 609 keV. La riga molto intensa a circa 80 keV è dovuta alla sovrapposizione di righe di trasformazione K_α e presumibilmente del Bi-214 (77,1 keV) e del Po-214 (79,3 keV). Se si esegue una valutazione più approfondita, si trova anche una riga molto debole a circa 90 keV. La sua presenza si può spiegare associandola alla riga K_β, ma è anche possibile che sia dovuta alla riga K_α del radio in seguito a ionizzazione da parte della radiazione α.



Ritorna alla tabella

Serie radioattiva del radio-226

Indietro



88-Ra-226

Radio-226
Tempo di dimezzamento: 1600 anni
Modo di decadimento: alfa in Rn-222
Decadimento energia: 4,871 MeV
Successiva possibilità di radiazione γ del Rn-222 a 186 keV

86-Rn-222

Radon-222, gas nobile
Tempo di dimezzamento: 3,8235 giorni
Modo di decadimento: alfa in Po-218
Decadimento energia: 5,590 MeV

84-Po-218

Polonio-218
(Il Po-218 viene chiamato anche radio A)
Tempo di dimezzamento: 3,10 minuti
Modo di decadimento: alfa in Pb-214
Probabilità: 99,98 %
Decadimento energia: 6,115 MeV

Modo di decadimento: beta in At-218
Probabilità: 0,02 %
Decadimento energia: 0,265 MeV

85-At-218

Astatine-218
Tempo di dimezzamento: 1,5 secondi
Modo di decadimento: alfa in Bi-214
Probabilità: 99,90 %
Decadimento energia: 6,874 MeV

Modo di decadimento: beta in Rn-218
Probabilità: 0,1 %
Decadimento energia: 2,883 MeV

86-Rn-218

Radon-218
Tempo di dimezzamento: 35 millisecondi
Modo di decadimento: alfa in Po-214
Decadimento energia: 7,263 MeV

82-Pb-214

Piombo-214
(Il Pb-214 viene chiamato anche radio B)
Tempo di dimezzamento: 26,8 minuti
Modo di decadimento: beta in Bi-214
Decadimento energia: 1,024 MeV
Successiva possibilità di radiazione γ del Bi-214 a 352 keV, 295 keV, 242 keV, 53 keV

83-Bi-214

Bismuto-214
(Il Bi-214 viene chiamato anche radio C)
Tempo di dimezzamento: 19,9 minuti
Modo di decadimento: beta in Po-214
Probabilità: 99,98 %
Decadimento energia: 3,272 MeV
Successiva possibilità di radiazione γ del Po-214 a 609 keV

Modo di decadimento: alfa in Tl-210
Probabilità: 0,02 %
Decadimento energia: 5,617 MeV

84-Po-214

Polonio-214
(Il Po-214 viene chiamato anche radio C')
Tempo di dimezzamento: 164,3 μs
Modo di decadimento: alfa in Pb-210
Decadimento energia: 7,833 MeV

81-Tl-210

Tallio-210
(Il Tl-210 viene chiamato anche radio C‘‘)
Tempo di dimezzamento: 1,3 minuti
Modo di decadimento: beta in Pb-210
Decadimento energia: 5,484 MeV

82-Pb-210

Piombo-210
(Il Pb-210 viene chiamato anche radio D)
Tempo di dimezzamento: 22,3 anni
Modo di decadimento: beta in Bi-210
Decadimento energia: 0,064 MeV

Modo di decadimento: alfa in Hg-206
Probabilità: $1,9^{-6}$ %
Decadimento energia: 3,792 MeV

83-Bi-210

Bismuto-210
(Il Bi-210 viene chiamato anche radio E)
Tempo di dimezzamento: 5,013 giorni
Modo di decadimento: beta in Po-210
Decadimento energia: 1,163 MeV

Modo di decadimento: alfa in Tl-206
Probabilità: 0,00013 %
Decadimento energia: 5,037 MeV

84-Po-210

Polonio-210
(Il Po-210 viene chiamato anche radio F)
Tempo di dimezzamento: 138,376 giorni
Modo di decadimento: alfa in Pb-206
Decadimento energia: 5,407 MeV

82-Pb-206

Piombo-206
(Il Pb-206 viene chiamato anche Radio G)
Il Pb-206 è il prodotto finale della serie radioattiva U-238 ed è un elemento stabile.

I dati sono stati presi dal database NUDAT, vedere:

R.R.Kinsey, *The NUDAT/PCNUDAT Program for Nuclear Data*, documento sottoposto al 9° Simposio Internazionale Capture-Gamma_ray Spectroscopy and Related Topics, Budapest, Ungheria, Ottobre 1996. Dati presi dal database NUDAT (Dec.18, 1997).

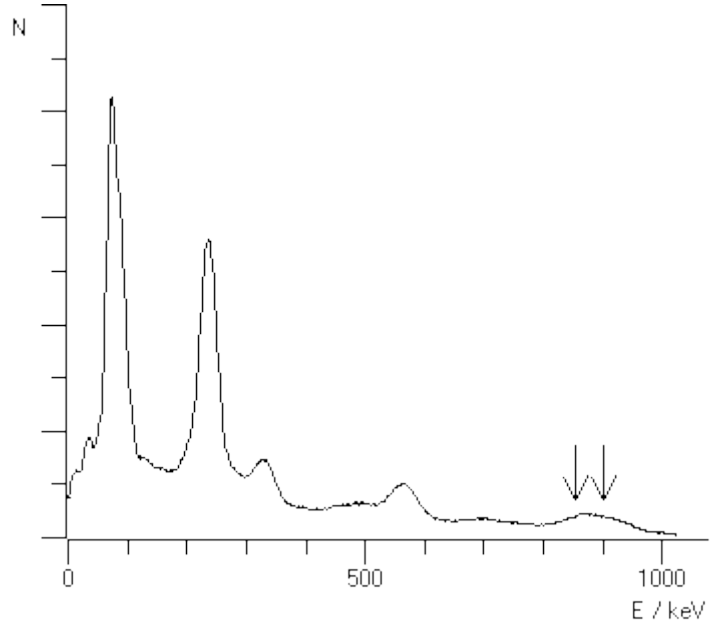
Indietro

Torio-232

Il torio è un elemento che si trova in natura. Il suo principale minerale è la monazite, un fosfato complesso di torio, uranio, cerio e lantanio. Ha un tempo di dimezzamento di 14 miliardi di anni ed è un isotopo della serie radioattiva 4n+0. Per i particolari sul decadimento, vedere sotto.

Il torio è presente in alcune reticelle per gas incandescente usate nelle lampade camping gas. Le reticelle non ancora utilizzate sono particolarmente indicate per la registrazione dello spettro γ del torio. Quelle già utilizzate sono friabili e decadono rapidamente in polvere radioattiva per cui si maneggiano con molta difficoltà. Nelle reticelle per gas incandescente di recente costruzione sono presenti gli isotopi di torio Th-232 e Th-228, mentre la produzione degli altri elementi della serie radioattiva avviene solo nel corso del tempo. A causa delle presenza dei due isotopi, le radiazioni del nucleo non avvengono secondo una semplice legge esponenziale. Infatti, si nota una complicata variazione di intensità dovuta ai tempi di dimezzamento del torio-228 (circa 2 anni) e del radio-228 (quasi 6 anni).

L'ossido di torio ha un rendimento luminoso particolarmente elevato anche se non è un corpo nero; esso emette una piccola radiazione a raggi infrarossi ed una maggiore quantità di luce nel campo dello spettro visibile (radiatore selettivo). La radioattività influisce molto poco sul rendimento luminoso del torio. A causa dei problemi di radioattività, ultimamente le reticelle per gas incandescente vengono realizzate con ossido di ittrio che non è radioattivo, ma presenta una minore luminosità.



Spettro γ di una sorgente di torio di 15 anni.

Nello spettro γ del torio sono presenti le righe di molti isotopi della serie radioattiva. Sono chiaramente visibili le seguenti righe, tutte provenienti dagli stati di eccitazione del nucleo dopo decadimento β.

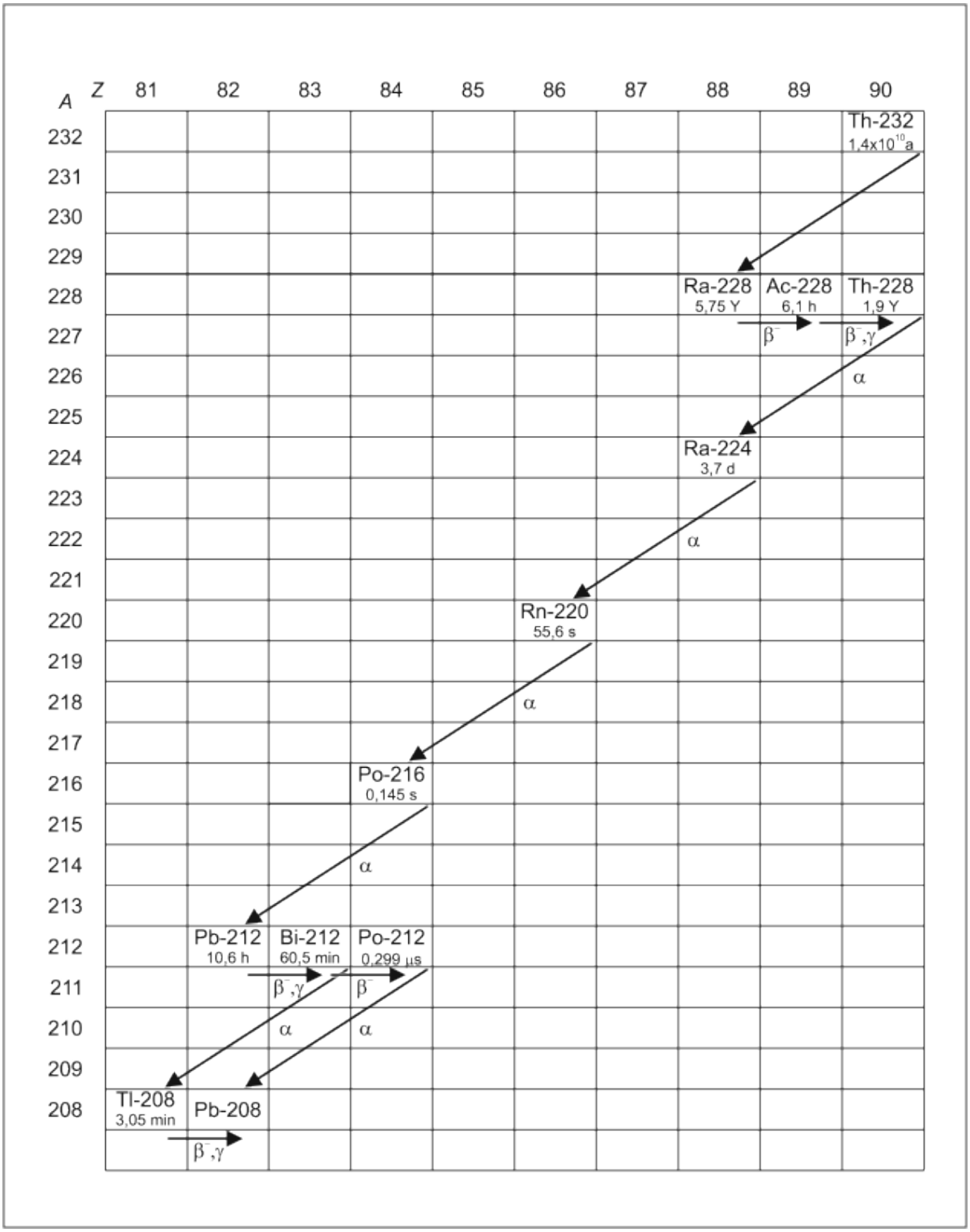
Th-228*: 338,32 keV, 911,204 keV
Bi-212*: 238,632 keV
Pb-208*: 583,191 keV, 860,564 keV

Esse sono la sovrapposizione delle righe K_α comprese nell'intervallo 80-90 keV. Contrariamente a quanto succede nel radio, in questo caso si può individuare la sovrapposizione di almeno due righe poiché, accanto alla riga ad 80 keV, è presente anche una componente a 90 keV. Nella diseccitazione del nucleo, la trasformazione interna da luogo ad emissione γ quindi ci sono buone possibilità di emissione K_α da parte degli isotopi responsabili dell'emissione γ. I livelli energetici sono a 74,96 keV (Pb-208), 77,1 keV (Bi-212) e 93,3 keV (Th-228).

Ritorna alla tabella

Serie radioattiva del torio-232

Indietro



Questo elenco non contiene l'energia degli elettroni emessi dopo il decadimento β.

90-Th-232

Torio-232
Tempo di dimezzamento: 14 miliardi di anni
Modo di decadimento: alfa in Ra-228

E_α (keV)	I_α (%)
3947,2	21,7
4012,3	78,2

88-Ra-228

Radio-228
Tempo di dimezzamento: 5,75 anni
Chiamato anche Mesotorio 1
Modo di decadimento: beta in Ac-228

89-Ac-228

Atinio-228
Tempo di dimezzamento: 6,15 ore
Chiamato anche Mesotorio 2
Modo di decadimento: beta in Th-228

E_γ (keV)	I_γ (%)
338,320	11,27
911,204	25,8

90-Th-228

Torio-228
Tempo di dimezzamento: 1,9 anni
Chiamato anche Radiotorio
Modo di decadimento: alfa in Ra-224

E_α (keV)	I_α (%)
5340,36	27,2
5423,15	72,2

88-Ra-224

Radio-224
Tempo di dimezzamento: 3,7 giorni
Chiamato anche Torio X
Modo di decadimento: alfa in Rn-220

E_α (keV)	I_α (%)
5448,6	5,06
5685,37	94,92

86-Rn-220

Radon-220, gas nobile
Tempo di dimezzamento: 55,6 secondi
Chiamato anche Thoron
Modo di decadimento: alfa in Po-216

E_α (keV)	I_α (%)
6288,08	99,886

84-Po-216

Polonio-216
Tempo di dimezzamento: 0,145 s
Chiamato anche Torio A
Modo di decadimento: alfa in Pb-212

E_α (keV)	I_α (%)
6778,3	99,9981

82-Pb-212

Piombo-212
Tempo di dimezzamento: 10,64 ore
Chiamato anche Torio B
Modo di decadimento: beta in Bi-212

E_γ (keV)	I_γ (%)
238,632	43,3

83-Bi-212

Bismuto-212
Tempo di dimezzamento: 60,55 minuti
Chiamato anche Torio C
Modo di decadimento:64 % beta in Po-212
36 % alfa in Tl-208

E_α (keV)	I_α (%)
6050,78	70
6089,88	27

84-Po-212

Polonio-212
Tempo di dimezzamento: 0,299 µs
Chiamato anche Torio C'
Modo di decadimento: alfa in Pb-208

E_α (keV)	I_α (%)
8784,37	100

81-Tl-208

Tallio-208
Tempo di dimezzamento: 3,05 minuti
Chiamato anche Torio C''
Modo di decadimento: beta in Pb-208

E_γ (keV)	I_γ (%)
510,77	22,6
583,191	84,5
2614,533	99

82-Pb-208

Piombo-208

Stabile

Serie radioattiva

Il decadimento naturale della radioattività, principalmente si manifesta attraverso decadimento α e β. In qualche caso, gli stati di eccitazione dei nuclei emettono anche radiazioni γ. Nel decadimento α, la massa dei nuclei viene modificata dalla massa di quattro nucleoni, mentre nel decadimento β e γ la variazione di massa è praticamente trascurabile. In questo tipo di decadimento, la variazione di massa di un nucleo avviene secondo multipli di 4. Quindi, in base al loro numero di massa, tutti i nuclei con radioattività naturale si possono collocare in una delle quattro serie radioattive. Queste serie contengono i nuclei i cui numeri di massa sono rispettivamente 4n, 4n+1, 4n+2 or 4n+3. Ciascuna serie inizia con l'isotopo che ha un tempo di vita più lungo. Dopo un primo decadimento del nucleo di origine, ne segue un altro relativamente più veloce fino a raggiungere lo stato finale stabile.

Massa	**Esempi**
4n+0	Th-232, Ra-228, Ra-224, Pb-208
4n+1	Np-237, U-233, Bi-209
4n+2	U-238, Ra-226, Pb-206
4n+3	U-235, Ra-223, Pb-207

La serie 4n+1 è molto rara in natura poiché l'isotopo Np-237 ha un tempo di dimezzamento di soli 2 milioni di anni. Dato che l'origine della terra è precedente, tale elemento è oramai quasi completamente decaduto. Gli isotopi di origine delle altre tre serie hanno tempi di dimezzamento dell'ordine dei miliardi di anni.

Oltre al decadimento α e β, ci sono altre forme di decadimento dei nuclei atomici, ad esempio, per evaporazione dei neutroni o per fissione spontanea per cui è possibile che si abbia una transizione tra i vari gruppi 4n+x. Tuttavia, queste forme di decadimento dei nuclei sono piuttosto rare in natura. Per esempio, nell'uranio-235 il decadimento avviene in 14 miliardi di anni per fissione spontanea del nucleo, mentre il resto avviene per decadimento α.

Indice

A

Abbassamento del punto di congelamento 359, 416
Acetato di etile 402, 407
Acido acetico 345, 370, 431
Acido cloridrico 363, 388, 398
Acido debole 370, 373
Acido fosforico 349
Acido polibasico 349
Acqua di cristallizzazione 412
Acustica 159, 161, 177, 179
Adattamento libero 19
Addizione 23
Aggiunta 13
alfa 293
Alimenti 338
Alluminio 306
Americio 293, 507
Amontons 422
Ampiezza 129
Analisi armonica 173, 175
Analisi del suono 177
Analisi di Fourier 173, 175
Analisi multicanale dell'altezza dell'impulso 496
Analisi termica differenziale 412
Analizzatore monocanale 320
Aria 152, 163, 166
ASCII 65
Assegnazione asse 17
Assegnazione assi 26
Assegnazione colonna 26
Assegnazioni colonna 16
Assi 18
Assorbimento 295, 298, 306, 439
Attenuazione 306
Attrito 143, 146, 152
Attrito di un liquido 149
Automatico titolazione 373, 376
Autoveicolo 464, 467, 471, 473, 475

B

Barre 18
Barriere luminose 96, 98
Base debole 373
Base forte 370
Battimenti 159
Becher di Marinelli 308
Bilancia 65, 398
Biologia 447
Box sensore 35, 36
Boyle-Mariotte 422
Bruciatore Bunsen 335
Buffer 349
Buretta a stantuffo 373

C

C/C++ 8
Caduta libera 111, 113
Calibrazione 18, 41
Calibrazione dell'energia 304
Calorimetro 418
Campo 295
Campo magnetico 193, 196, 204
CAN bus 473, 475
Cancella 14, 16, 21
Capacità di un cavo 218
Capacità polmonare 459
Cappa di gas incandescente 316
Caratteristica 239, 240, 243, 245
Caratteristica dei raggi X 498
Carica 214, 216, 218
Carica elementare 267
CASSY 24
CASSY Lab 9
CASSY-Display 51, 461
Catalisi 390
CE2 436
Cella solare 245
Centro di picco 20
Cesio 503
CFC 441
Chimica 334
Cinetica 390, 398, 402, 407
Clima 461
Clipboard 16, 22
Clorofilla 386
Cloruro di sodio 428
CO2 444
Cobalto 505
Codice di attivazione 9
Coincidenza 318
Collegamento delle resistenze in parallelo 85
Collegamento delle resistenze in serie 83
Commento 28
Compton 312, 499, 500
Computer di bordo 471
Concentrazione 366
Condensatore 214, 216, 218
Condizione di misura 13
Conducibilità 370, 373, 390, 402, 407, 425, 431
Conducibilità equivalente 428
Conducibilità equivalente limite 428, 431
Conduzione 322
Contatore a scintillazione 495
Contatore a semiconduttore 496
Contrassegno 19
Controllo 247, 250, 252
Conversione 497
Coordinate 17
Copia 16, 22
Corpi solidi 171, 322

Correlazione angolare 318
Correzione 41
Costante 25
Costante di dissociazione 431
Coupled pendulums 157
Crioscopia 359
Curva di fusione 356
Curva Gaussiana 23

D

Data logger 51, 67
Dati tecnici 34, 44, 47, 53, 56, 60, 62, 64
Decadimento del Radio 510
Definizione di ampere 198
Definizione di newton 100
Delphi 8
Derivazione 25
Determinazione della massa molare 359
Determinazione dell'età 300
Detersivi 341
Diagramma pV 187
Diastole 21
Differenza 19
Diffrazione, fenditure multiple 258
Diffrazione, singola fenditura 255
Dimensione carattere 16
Diodo 240, 496
Dipendenza angolare 312
Display 26
Dispositivi seriali 65, 66, 67
Distanza 19, 91
Distribuzione di Gauss 20
Distribuzione di Poisson 20, 290
Domestico 366
Drop counter 376
Dsispositivi seriali 67

E

ECG 452
Effetto Compton 286, 312, 499, 500
Elettrocardiogramma 452
Elettromiogramma 454
EMG 454
Energia 18, 104, 117
Energia elettrica 183
Energia meccanica 180
Energia termica 180, 183
Entalpia 412
Entalpia di fusione 418
Enzima 390
Equazioni differenziali 27

F

Faraday 201, 204
Fattore di Forma 20
FFT 25, 155, 157, 173, 175
Fila della tabella 16
Filtro 230, 233, 236
Fisica 93
Fluorescenza dei raggi X 276, 279, 498
Fluorescenza di raggi X 327, 330
Fondo 23
Formula 13, 25, 29
Formule 32
Forza 190, 193, 196, 198
Forza centrifuga 119, 121
Fotometro 66, 386
Franck-Hertz 270, 273
Frequenza di conteggio (box MCA) 23
Funzione di fit 19
Funzione esponenziale 19
Fusione 356

G

Gas 168
Gascromatografia 380, 382, 384
Gaussiane 21
Gay-Lussac 422
Generale 28
Generatore di funzioni 45, 49
Grado di dissociazione 431
Grandezze di misura 36
Griglia 18
Guida d'onda 484
Guida d'onda a due piani 481

I

I2C 471
IAccensione 464
Idrolisi 395, 402, 407
Impulso di tensione 201
Induzione 201, 204
Ingegneria di comando 493
Ingresso 41
Ingresso analogico 48
Ingresso digitale 50
Ingresso sensor 41
Ingresso sensore 35
Iniezione 467
Installazione 7
Integrale 20, 25
Integrale di picco 20
Interazione 497
Interfaccia 28
Intervallo 13
Inviluppo 19
Iperbole 19
IR 444
IRPD 65
Isteresi 324
Istogramma 25

J

Joule- e watt-metro 58, 60

K

Kohlrausch 428, 431

L

LabVIEW 8
Lampada ad incandescenza 239
Larghezza linea 17
Legge del moto 102, 115
Legge della distanza 261
Legge di Coulomb 190
Legge di Moseley 276, 279
Legge di Ohm 81, 83, 85
Leggi dei gas 422
Linea orizzontale 19
Linea verticale 19
Linee 18, 501
Lingua 28
Liquido 152
Lubricante 146
Luce 261
Luminosità 250

M

Mach 133
Marmo 388, 398
Materia 497
Materiale ferromagnetico 324
MCA 496
Mercurio 270
MetraHit 66
MFA 2001 65
Migliore linea retta 19
Millikan 267
Miscela refrigerante 416
Misura 13, 15
Misura del pH 338, 341
Misurazione 18
Mobile-CASSY 55, 56, 57
Modellizzazione 27, 113, 127, 140, 143, 146, 149, 152, 216, 222, 228, 233, 236
modo TE 481
modo TEM 481
Modulazione 477
Momento 104
Momento angolare 117
Moto 71, 73, 75, 77, 79, 96, 98, 102, 115
Moto con ruota a raggi 100
Motore ad aria calda 187
Multigrafica 13

N

NaH2PO4 373
Neon 273
Newton 102, 115
NH3 373
Nuclidi di decadimento 300

O

Ondulazione 20
Ordine della reazione 390
Ordine di reazione 398, 402
Oscillation 157
Oscillatore Gunn 479
Oscillatore smorzato 220, 222
Oscillatori accoppiati 224
Oscillazione 123, 125, 127, 129, 131, 133, 136, 140, 143, 146, 149, 152, 155, 220, 222, 224, 226, 228
Ostwald 431
Ottica 255, 258
Ozono 441

P

Parabola 19
Parametri di attivazione 407
Parametri di misura 15
Parametro 25
Passa alto 230, 236
Passa banda 230
Passa basso 230, 233
PCM 477
Pendo 152
Pendoli accoppiati 155
Pendolo 123, 125, 127, 129, 131, 133, 136, 138, 140, 143, 146, 149, 155
Pendolo reversibile 131
pendolo-g 133
Pendulum 157
Perdita di energia 298
Perdita di energia nella materia 310
Periodo di oscillazione 138
pH 366, 370, 373
Piattaforma rotante per antenna 67
Piombo 306
Pocket-CASSY 52, 53, 54
Ponte di Wheatstone 89
Potassio 508
Potassio-40 308
Potenza 210, 212, 245
Potenziometro 87, 89
Power-CASSY 43, 44, 45
Preparati misti 302
Pressione del sangue 455
Pressione dell'aria 295
Profi-CASSY 46, 47, 48, 49, 50
Propagazione delle microonde 484
Pulsanti rapidi 9
Pulsazione 448
Punto di fusione 353
Punto di solidificazione 353, 356
Punto equivalente 21

Q

Quantità di moto 107, 109
Quantizzazione 477

R

Radiazione di raggi X 282
Radio 314, 471, 508
Radioattività ambientale 308
Radon 291
Raggi X 286, 498
Rapporto d'onda stazionaria 484
Reazione cinetica 395
Registrazione automatica 13
Registrazione manuale 13
Regolatore a due posizioni 247
Regolatore PI 247, 250, 252
Relè 42
Resistenza 322
Resistenza della pelle 450
Rettificazione 436
Riflessione di Bragg 282
Righe 18
Rilevatore 495
Risonanza 226, 228

S

Sacarica 216
Scala-g 111, 113
Scarica 214, 218
Schermo solare 439
Scissione dell'urea 390
Sensor-CASSY 33, 34, 35, 36, 41, 42
Sensore d'ingresso 36
Separazione degli alcheni dai gas leggeri 380
Separazione degli alcoli 382
Separazione dell'aria 384
Serie 517
Serie di misure 16
Serie radioattiva 514
Serie radioattive 300, 517
Serra 444
Servo tecnologia 493
Settaggi 24, 25, 26, 27, 28, 35, 41, 42, 45
Settaggio 48, 49, 50
Sfuggire 500
Sintassi 29
Sintesi dei suoni 179
Sistole 21
Sodio 504
Software 8
Solido 143
Soluzione di soda caustica 363, 370
Sopraffusione 356
Sorgente di tensione 42
Sorgenti 501
Sottrazione 23
Spettro 302, 386
Spettro beta 310
Spettro gamma 304, 314
Spettrofotometro digitale 66
Spirometria 459
STM 70
Stronzio 506
Strumenti di misura manuali 67
Strumento di misura universale per chimica 63, 64
Strumento di misura universale per fisica 61, 62

T

Tabella 16
Tecnica 463
Tecnica delle antenne 487
Tecnica delle microonde 479
Temperatura 247, 335, 353
Tempo di dimezzamento 291
Tempo di misura 13, 15
Tempo di reazione 457
Tensione 252
Tensione AC di rete 212
Termometro 66
Testo 19
Titolazione 363, 366, 370, 373, 376
Torio 316, 513, 514
Transistor 243
Trasformata di Fourier 25
Trasformatore 208, 210
Trigger 13

U

Ureasi 390
Urto 104, 107, 109, 117
Uscita 42
Uscita analogica 49, 50
Uscita digitale 50
UV 439, 441

V

Valore del pKa 345
Valore medio 19, 25
Valori 18
Valutazioni 17
Velocità del suono 163, 166, 168, 171
Velocità della luce 263, 265
Vibrazioni di una fune 161
VideoCom 65

Z

Zoom 18